



Universidad  
Carlos III de Madrid

ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA

AREA DE INGENIERIA DE ORGANIZACION

PROYECTO FIN DE CARRERA

# **Análisis y mejora de un taller de producción de piezas mecánicas mediante metodología « lean ».**

Autor: **Cyrille LOPEZ GONZALO**

Tutora: **Alicia GARCIA HERNANDEZ**

Leganés, 2014



## AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer a mi tutora Alicia García Hernández, por su disponibilidad, su flexibilidad su paciencia y por la orientación dada para realizar este documento.

Quisiera también agradecer a L. Jamot por tutorarme y proponerme este proyecto en su taller. Su ayuda, sus ideas y consejos y sobre todo la confianza que ha depositado en mí.

Agradezco a todas las personas con quien trabajé durante el periodo de práctica: los obreros, los supervisores, los gerentes de producción, los responsables de métodos, los responsables de calidad,...

Por fin, agradezco a mi familia y mis amigos por todo el apoyo recibido.

## RESUMEN

El objetivo final de este proyecto fue analizar y mejorar el funcionamiento de dos islotes de un taller mediante una metodología lean. El lean manufacturing es una cosa nueva en este taller. Antes de este proyecto, sólo se había estudiado un islote con esta metodología. Así, este proyecto fue la oportunidad de implementar técnicas de lean manufacturing en dos islotes más. En este caso, decidimos emplear la metodología DMAIC para desarrollar este proyecto. Así, podíamos organizar nuestro proyecto en 5 etapas fundamentales para llevar a cabo mejoras sobre los dos islotes concernidos (islote de rectificación e islote NH-SH).

En la primera fase, hemos definido el proyecto. Es decir, su perímetro, los objetivos que queríamos alcanzar, los miembros del equipo, los riesgos... Durante esa fase de definición, observamos en detalle los islotes, es decir hemos descrito los procesos, sus modos de funcionamiento, los clientes y los proveedores de cada uno.

En la segunda fase, hemos medido los dos islotes. Es decir que para cada uno, hemos recogido diversos datos que nos han permitido identificar los problemas que surgen en estos. Para el islote de rectificación tomamos dos tipos de datos: cualitativos, con el análisis de las 5 "M" y cuantitativos, con los flujos de las piezas y de los obreros. De mismo modo para el islote NH-SH, hemos hecho una auditoria de las 5 "M" y hemos recogido los diferentes rendimientos de los medios de producción según la norma del TPM.

En la tercera fase, hemos analizado los problemas recogidos en la segunda etapa, para obtener las causas de dichos problemas. De este análisis, dedujimos soluciones para resolver los diferentes problemas. En particular, encontramos dos soluciones para el islote de rectificación: la implementación de acciones 5S y un nuevo layout para el islote. Para el islote NH-SH, encontramos tres soluciones: las acciones 5S, un islote extendido con un puesto de ajuste en su interior y una herramienta informática para ayudar a los supervisores a detectar incongruencias entre las horas de trabajo fichadas por los obreros y las horas de trabajo reales.

En la cuarta fase, de acuerdo con el jefe del taller, que fue mi tutor en la empresa, hemos sometido las soluciones a aprobación por parte de la dirección de la línea de producción y de la entidad PMEE (Producción Mecánica y equipamientos electromecánicos). Cada solución fue presentada: con los beneficios que podría aportar al islote, con una planificación temporal y con los recursos necesarios para su desarrollo. Sólo tres soluciones de las cinco estudiadas que fueron aprobadas por parte de la dirección. Así, he realizado acciones 5S en los dos islotes y he construido una herramienta informática para ayudar a los supervisores.

En la quinta fase, hemos analizado cómo se planificaba realmente la implementación de las soluciones, lo que éstas han aportado realmente al islote así como sus costes.

## INDICE GENERAL

<b>Capítulo 1 : Introducción .....</b>	<b>1</b>
1.1 Evolución histórica de los sistemas de producción .....	2
1.2 Presentación del proyecto .....	3
1.3 Objetivo del proyecto .....	3
1.4 Cronograma del proyecto .....	4
1.5 Estructura del proyecto .....	5
<b>Capítulo 2 : Descripción de la empresa y del taller .....</b>	<b>6</b>
2.1 El grupo empresarial.....	7
2.2 La planta de Bourges-aeropuerto (Francia).....	11
2.2.1 PMEE.....	12
2.2.2 La línea de producción mecánica.....	14
2.3 El taller de mini y micro mecánica .....	15
<b>Capítulo 3 : Marco teórico: metodología y herramientas empleadas .....</b>	<b>19</b>
3.1 Herramienta DMAIC .....	20
3.2 Diagrama SIPOC .....	23
3.3 Método de las 5M .....	23
3.4 Diagrama de hilos .....	23
3.5 Cursograma analítico .....	24
3.6 Los indicadores de eficiencia del TPM .....	25
3.7 Estimar un plan de producción futuro gracias a los rendimientos actuales .....	27
3.8 Las 5S .....	33

<b>Capítulo 4 : Fase “preparatoria” del proyecto .....</b>	<b>36</b>
4.1 Definición del proyecto .....	37
4.1.1 Carta del proyecto .....	36
4.1.2 Identificación del proceso de producción del islote rectificación .....	39
4.1.3 Identificación del proceso de producción del islote “NH-SH” .....	41
4.2 Medidas .....	45
4.2.1 Medidas en el islote « rectificación ». ....	45
4.2.1.1 Análisis de las 5M.....	45
4.2.1.2 Diagrama de flujos de los operarios y de las piezas .....	48
4.2.1.3 Cursograma analítico .....	53
4.2.2 Medida en el islote “NH-SH” .....	55
4.2.2.1 Análisis de las 5M.....	55
4.2.2.2 Flujos de piezas y obreros .....	58
4.2.2.3 Cursograma analítico .....	61
4.2.2.4 Índice obrero/máquina .....	63
4.2.2.5 Índices de rendimiento y tiempo de perdidas .....	63
4.3 Análisis .....	69
4.3.1 Causas a mejorar y propuestas de mejora sobre el islote de rectificación .....	69
4.3.2 Causas a mejorar y propuestas de mejora sobre el islote NH-SH .....	73
4.3.2.1 Enumeración de los problemas .....	73
4.3.2.2 Clasificación en grupo de tipo de los problemas .....	74
4.3.2.3 Clasificación por criticidad de los grupos de problemas.....	75
4.3.2.4 Causas de los problemas relativos a la organización .....	76
4.3.2.4.1 Causas de problemas de ergonomía y ubicación.....	76
4.3.2.4.2 Causas de problemas de cuello de botella .....	76
4.3.2.4.3 Causas de problemas de rendimientos bajos .....	77
4.3.2.5 Causas de los problemas de seguridad .....	83
4.3.2.6 Causas de los problemas que pueden impedir el trabajo .....	83
4.3.2.7 Causas de los problemas relativos a la calidad .....	84
4.3.2.8 Conclusiones del análisis del islote NH-SH .....	84

## Capítulo 5 : Fase de mejora .....88

5.1 Mejora en el islote “rectificación” .....	89
5.1.1 Nuevo layout de los medios de producción y del equipamiento .....	89
5.1.1.1 Propuesta de disposición .....	89
5.1.1.2 Beneficios del nuevo layout.....	94
5.1.1.2.1 Optimización de superficie .....	94
5.1.1.2.2. Ahorro potencial de distancia recogida .....	95
5.1.1.3 Planificación de los recursos necesarios.....	102
5.1.2 Acciones 5S .....	106
5.1.2.1 Acciones a realizar .....	106
5.1.2.2 Beneficio esperado de las acciones .....	109
5.1.2.3 Planificación de las acciones .....	109
5.2 Mejora en el islote “NH-SH” .....	113
5.2.1 Un islote extendido.....	113
5.2.1.1 Propuesta de islote extendido .....	113
5.2.1.1.1 Descripción del islote .....	113
5.2.1.1.2 Organización del islote : recursos humanos necesarios y plan de producción .....	116
A/ Tipos posibles de plan de producción .....	116
B/ Calculo de todos los planes de producción posibles .....	120
C/ Necesidad de calcular los recursos humanos necesarios y criterios de selección del mejor plan de producción .....	121
D/ Calculo de los recursos necesarios.....	122
I. Herramienta informática .....	122
II. Ejemplo de utilización de la herramienta.....	123
III. algoritmo de selección del nº de recursos.....	126
E/ Selección del mejor plan de producción .....	127
5.2.1.1.3 Layout del islote extendido .....	129
5.2.1.2 Beneficios esperados .....	131
5.2.1.3 Planificación de los recursos.....	132

5.2.2 Acciones 5S .....	134
5.2.2.1 Acciones a realizar .....	134
5.2.2.2 Beneficio esperado de las acciones .....	136
5.1.2.3 Planificación de los recursos .....	137
5.2.3 Solución para tener información del funcionamiento real de las maquinas....	140
<b>Capítulo 6 : Resultados y etapa de control .....</b>	<b>143</b>
6.1 Seguimiento de la planificación general prevista .....	144
6.2 Mejoras implementadas .....	149
6.2.1 Acciones 5S en el islote de rectificación .....	149
6.2.2 Acciones 5S en el islote NH-SH .....	153
6.2.3 Herramienta informática para control de funcionamiento .....	156
6.3 Beneficios y gastos obtenidos .....	156
6.3.1 Gastos y beneficios en el islote de rectificación .....	156
6.3.2 Gastos y beneficios en el islote NH-SH .....	159
<b>Capítulo 7 : Conclusiones y desarrollos futuros.....</b>	<b>162</b>
7.1 Conclusiones .....	163
7.1.1 Conclusiones del proyecto .....	163
7.1 2 Conclusiones personales .....	164
7.2 Desarrollos futuros .....	165
<b>Anexo .....</b>	<b>166</b>
<b>Bibliografía .....</b>	<b>169</b>

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1 : diagrama de Gantt con la planificación del proyecto .....	4
Figura 2 : creación de MBDA .....	7
Figura 3 : accionistas y subsidiarias de MBDA.....	8
Figura 4 : repartición de los empleados de MBDA.....	8
Figura 5 : ventas y pedidos de MBDA.....	9
Figura 6 : gama de productos de MBDA.....	10
Figura 6.1 : <i>misil METEOR</i> .....	10
Figura 6.2 : <i>misil ASTER</i> .....	10
Figura 6.3 : <i>misil SCALP/STORM SHADOW</i> .....	10
Figura 7: plataformas de las armadas equipadas de misiles MBDA .....	11
Figura 7.1: Planta de Bourges-aeropuerto .....	11
Figura 8 : producto de materiales compuestos .....	12
Figura 9 : equipo electromecánico.....	12
Figura 10 : ejemplo pieza mecánica .....	13
Figura 11 : organización general de PMEE .....	13
Figura 12 : jerarquía del taller de mini y micro mecánica .....	15
Figura 13 : ejemplo 1, pieza fabricada en el taller de mini y micro mecánica .....	16
Figura 14 : ejemplo 2, pieza fabricada en el taller de mini y micro mecánica .....	16
Figura 15 : ejemplo 3, pieza fabricada en el taller de mini y micro mecánica .....	16
Figura 16 : ejemplo 4, pieza fabricada en el taller de mini y micro mecánica .....	16
Figura 17 : ejemplo 5, pieza fabricada en el taller de mini y micro mecánica .....	16
Figura 18 : ejemplo de centro de mecanizado .....	17
Figura 19 : ejemplo de torno alta velocidad .....	17
Figura 20 : ejemplo máquina de electro-erosión .....	17
Figura 21 : ejemplo de rectificadora .....	17
Figura 22 : ejemplo de máquina de medida tri-dimensional .....	17
Figura 23 : ilustración de la mejora continua y de la mejora por penetración .....	20
Figura 24 : etapas de la metodología DMAIC.....	21
Figura 25 : ejemplo de cursograma analítico .....	24
Figura 26: Tiempos del TPM .....	26
Figura 27 : ilustración de la influencia del rendimiento sobre los tiempos de producción .....	29



Figura 28 : figura explicativa del cálculo de la sobre carga a un mes n.....	32
Figura 29 : las 5S.....	33
Figura 30 : carta del proyecto.....	38
Figura 31 : diagrama SIPOC del proceso de producción sobre el islote de rectificación .....	40
Figura 32 : proceso de rectificación .....	41
Figura 33 : diagrama SIPOC del proceso de producción sobre NH-SH.....	43
Figura 34 : proceso de producción sobre el islote NH-SH.....	44
Figura 35 : diagrama de hilos del islote rectificación .....	49
Figura 36 : flujo de la pieza P sobre el islote rectificación .....	53
Figura 37 : cursograma analítico sobre el islote de rectificación .....	54
Figura 38 : trayecto de las piezas sobre el islote NH-SH .....	59
Figura 39 : trayecto de los operarios sobre el islote Nh-Sh para tomar herramientas.....	60
Figura 40 : cursograma analítico sobre el islote NH-SH .....	61
Figura 41 : cálculo de la aproximación del ratio de no-conformidad.....	65
Figura 42 : tiempos del TPM por las maquinas NH y SH .....	67
Figura 43 : causas de problemas y soluciones en el islote NH y SH .....	85
Figura 44 : busca de soluciones – islote NH-SH.....	86
Figura 45 : plan de la disposición actual del islote rectificación y de su entorno .....	90
Figura 46 : descripción de los movimientos de los medios de producción .....	91
Figura 47 : nueva disposición de elementos en el islote rectificación .....	93
Figura 48 : zonas libres en la disposición actual del islote de rectificación .....	94
Figura 49 : zonas libre con la propuesta de mejora .....	95
Figura 50 : flujos obreros en la nueva disposición del islote rectificación .....	97
Figura 51 : evolución del ahorro por cada máquina según el número de piezas .....	101
Figura 52 : nuevo micro torno alta precisión .....	102
Figura 53 diagrama de Gantt con la planificación de la propuesta de nuevo layout .....	105
Figura 54: foto 1, aspecto general de una parte del islote de rectificación.....	106
Figura 55 : ejemplo desorden.....	107
Figura 56 : ejemplo desorden 2.....	107
Figura 57 : ejemplo desorden cajones 1.....	107
Figura 58 : Ejemplo desorden cajones 2.....	107
Figura 59 : desorden sobre “rodage”, ejemplo .....	107
figura 60 : desorden sobre “rodage”, ejemplo 2.....	107
Figura 61 : foto zona a dismantelar 1 .....	108

figura 62 : foto zona a dismantelar 2 .....	108
Figura 63 : diagrama de Gantt implementación 5S – islote rectificación .....	111
Figura 64 : secuencia actual de las etapas en el islote NH-SH .....	114
Figura 65: secuencia de las tareas de producción con un islote extendido en NH-SH .....	114
Figura 66 : propuesta proceso de producción del islote extendido.....	115
Figura 67: ilustración del cálculo de los planes de producción (caso2) .....	117
Figura 68: ilustración calculo planes de producción (caso 3).....	118
Figura 69: criterios de selección del mejor plan de producción .....	122
Figura 70 : ejemplo hoja de la herramienta informática – NH-SH .....	123
Figura 71 : ejemplo hoja de cálculo criterios – ajuste.....	124
Figura 72 : ejemplo gráfico de la carga mes a mes para el islote.....	125
Figura 73 : ejemplo grafico índice obrero/máquina.....	125
Figura 74 : ejemplo grafico carga ajuste del islote extendido.....	126
Figura 75: flujograma selección número operarios.....	127
Figura 76 : propuesta de nueva disposición del islote extendido. ....	129
Figura 77 : flujos de las piezas sobre el islote extendido .....	130
Figura 78 : flujos operarios sobre el islote extendido .....	130
Figura 79 : diagrama de Gantt – planificación implementación del islote extendido .....	133
Figura 80 : desorden general islote NH-SH .....	134
Figura 81 : ejemplo de desorden en un cajón. ....	135
Figura 82 : ejemplo de desorden sobre un banco.....	135
Figura 83 : diagrama de Gantt de las actividades 5S del islote NH-SH.....	139
Figura 84 : ilustración nueva técnica de supervisión. ....	141
Figura 85: ejemplo fichas horas obreros.....	142
Figura 86: diagrama de Gantt del desarrollo de la fase de mejora.....	145
Figura 87 : diagrama de Gantt –fase de mejora - desarrollo previsto.....	146
Figura 88 : diagrama de Gantt con el desarrollo real de las implementaciones.....	147
Figura 89 : fotos rectificación plana antes y después acciones 5S.....	151
Figura 90 : foto de una tabla inútil antes las acciones 5S. ....	151
Figura 91 : fotos antes y después la acciones 5S con la máquina de “rodage” .....	152
Figura 92 : ejemplo cajón ordenado 1.....	152
Figura 93 : ejemplo cajón ordenado 2.....	152
Figura 94: fotos antes y después de la zona a desafectar del islote de rectificación .....	153
Figura 95 : comparación entre el antiguo y el nuevo banco .....	154
Figura 96 : tornillos ordenados .....	155



Figura 97 : herramientas ordenadas .....	155
Figura 98 : ejemplo de cajón con desorden en el islote NH-SH .....	155

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1 : lista de tareas del proyecto .....	4
Tabla 2 : ejemplo plan de producción .....	42
Tabla 3 : resultados análisis 5M .....	47
Tabla 4 : distancias recogidas por el obrero sobre el islote rectificación .....	51
Tabla 5 : distancia recogida por el obrero en función de n para cada máquina del islote de la rectificación .....	51
Tabla 6 : secuencia de la pieza “mayora” en el islote de rectificación.....	52
Tabla 7 : análisis de las 5M sobre el islote NH-SH .....	58
Tabla 8 : secuencias sobre NH-SH .....	59
Tabla 9: Índices de rendimiento de NH y SH por el primer cuatrimestre .....	66
Tabla 10 : tiempo de no funcionamiento de máquinas sobre tiempo de apertura potencial .....	78
Tabla 11: tipo de tabla implementada en los puestos de trabajo para conocer causas de paradas ....	79
Tabla 12: recapitulativo de los resultados obtenidos sobre las causas de las paradas .....	80
Tabla 13 : ahorros en superficie útil en el islote de rectificación .....	96
Tabla 14 : tabla de las distancias recorridas por el obrero en el islote de rectificación .....	99
Tabla 15 : ahorro de distancia recorrida por el obrero en función del número de piezas .....	100
Tabla 16 : bancos y muebles necesarios para el islote de rectificación .....	103
Tabla 17 : tareas relativas a la planificación de nuevo layout.....	105
Tabla 18 : Solicitud de horas para acciones 5S en el islote de rectificación. ....	110
Tabla 19: tareas relativas a la planificación de las acciones 5S en el islote de rectificación.....	111
Tabla 20: ejemplo de plan de producción actual .....	116
Tabla 21: ejemplo 1 de plan de producción del islote extendido .....	117
Tabla 22: ejemplo 2 de plan de producción del islote extendido .....	117
Tabla 23: ejemplo 3 de plan de producción del islote extendido .....	118
Tabla 24: diferentes tipos de secuencias de los artículos que pasan sobre NH-SH y el ajuste.....	119
Tabla 25: resultados numéricos de los diferentes planes de producción posibles. ....	120
Tabla 26: síntesis resultados criterios de selección del plan de producción adecuado.....	128
Tabla 27 : tareas relativas a la implementación del islote extendido .....	133
Tabla 28: horas necesarias para actividades 5S en el islote NH-SH .....	138
Tabla 29 : tareas de las acciones 5S en el islote NH-SH .....	139
Tabla 30 : tareas del diagrama de gantt de la figura 85.....	145
Tabla 31 : tareas del diagrama de Gantt de la figura 87 .....	146



Tabla 32 : tareas del diagrama de Gantt de la figura 88. ....	148
Tabla 33 : auditoria final de las 5" M" en el islote de rectificación.....	158
Tabla 34 : auditoria final de las 5" M" en el islote NH-SH.....	160

# CAPITULO 1 : INTRODUCCION



## CAPITULO 1 . INTRODUCCION

### 1.1 EVOLUCION HISTORICA DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCION

Históricamente, la primera persona que pensó realmente en un proceso completo de producción fue Henry Ford. En efecto, en 1913, H. Ford estandarizó los componentes utilizados e implementó los primeros flujos de producción. Esas líneas de producción fueron temporizadas con máquinas especiales para secuenciar en algunos minutos el montaje de los componentes de los coches. Esa organización fue un paso revolucionario rompiendo con el sistema típico de Estados Unidos que agrupaba las máquinas por procesos. Por eso, el constructor Ford fue el líder mundial, seguido por la nueva competencia como General Motors Company y Chrysler hasta el año 1955. Al fin de los años 1950, los constructores europeos como Volkswagen o Renault producían como las empresas americanas. Pero el shock petrolero de 1973 fue el fin de esa época. Mientras que los constructores de automóviles europeos y norteamericanos encontraban dificultades, un constructor japonés tenía resultados crecientes. Esa buena resistencia a la crisis mundial enfocó la atención de los constructores sobre el “caso Toyota”, un sistema de producción flexible y capaz de adaptarse a la demanda del mercado. Este sistema fue el principio de un sistema de producción denominado “just in time”.

En la actualidad, la estructura económica en Europa y el mantenimiento de la fortaleza del Euro nos pone en una situación desfavorable para mantener la competitividad de nuestras empresas en comparación con los países emergentes. La tecnología y la experiencia no son suficientes para garantizar la perennidad de nuestras empresas. El éxito y la eficiencia son imprescindibles para hacer frente a esos competidores sobre mercados maduros. Así, es primordial obtener el producto esperado por el cliente en el momento querido y con un coste competitivo. Detrás de esta evidencia, hay una optimización de los recursos, la inclusión de los deseos de los clientes y el respeto de la calidad, que se puede conseguir a través del lean manufacturing.

Los orígenes del “just in time” radican en 1950, con el ingeniero Toyoda que ha hecho una parte de sus estudios en una planta de Ford en Estados Unidos y con un ingeniero de producción, Taiichi Ohno. Esos dos ingenieros de la empresa Toyota, después sus estudios del sistema de producción de las plantas occidentales, sabían que este sistema no podía funcionar en Japón a causa de diversas razones (variedad de la demanda, ausencia de exportación,...). La empresa Toyota debía cambiar su modelo de producción y fue Taiichi Ohno, el que como director de producción empezó a experimentar sobre las líneas de producción. Veinte años más tarde, los resultados de productividad y de calidad de los productos fueron increíbles.

El término lean fue creado para describir el modelo Toyota a finales de los años 1980 por un equipo de investigación dirigido por Jim Womack, doctor del MIT. Más allá de un método, el lean es una filosofía cuyos objetivos son comprender y admitir la necesidad de eliminar los despilfarros, así como admitir los intereses de la producción “just in time”.

La primera idea del lean es maximizar el valor añadido que se aporta al cliente reduciendo los despilfarros. Es decir que lean significa simplemente dar más valor a los clientes con menos recursos. Para llevar a cabo eso, el pensamiento lean cambia el modelo de gestión a través de la optimización de los flujos de bienes y de servicios. La eliminación de los despilfarros se hace con la creación de procesos que requieren menos esfuerzos humanos, menos espacio, menos capital y menos tiempo en la creación y en la fabricación de los productos, lo que permite obtenerlos más baratos y con menos defectos. Así, las empresas son más ágiles para adaptarse a los deseos y a las necesidades cambiantes de los clientes en términos de coste, calidad y tiempo.

## 1.2 PRESENTACION DEL PROYECTO

El presente proyecto fin de carrera se centra en el estudio de un taller de producción de piezas mecánicas y en la aplicación de técnicas de lean manufacturing para su mejora según los principios comentados en el apartado anterior. Este proyecto se ha llevado a cabo en la empresa MBDA, a partir de una beca de colaboración de 24 semanas, desarrollada entre el 13 de enero de 2014 y el 30 de junio de 2014. El estudio trata de la mejora de dos islotes del taller de producción de piezas de alta precisión. El primer islote está dedicado a la rectificación de las piezas, así su denominación en el taller es el islote de “rectificación”. El segundo está dedicado al mecanizado de ciertas piezas, y contiene dos centros de mecanizado: NH y SH, pues, su denominación es el islote “NH-SH”. El lean manufacturing es una cosa nueva para este taller, es decir que antes del proyecto no se aplicaban técnicas de lean sobre dichos islotes.

## 1.3 OBJETIVO DEL PROYECTO

Según se ha comentado en apartado anterior, el proyecto se centra en el estudio y la mejora de un taller de producción de piezas mecánicas de alta precisión mediante una metodología lean.

Así, los objetivos parciales de este proyecto son los siguientes:

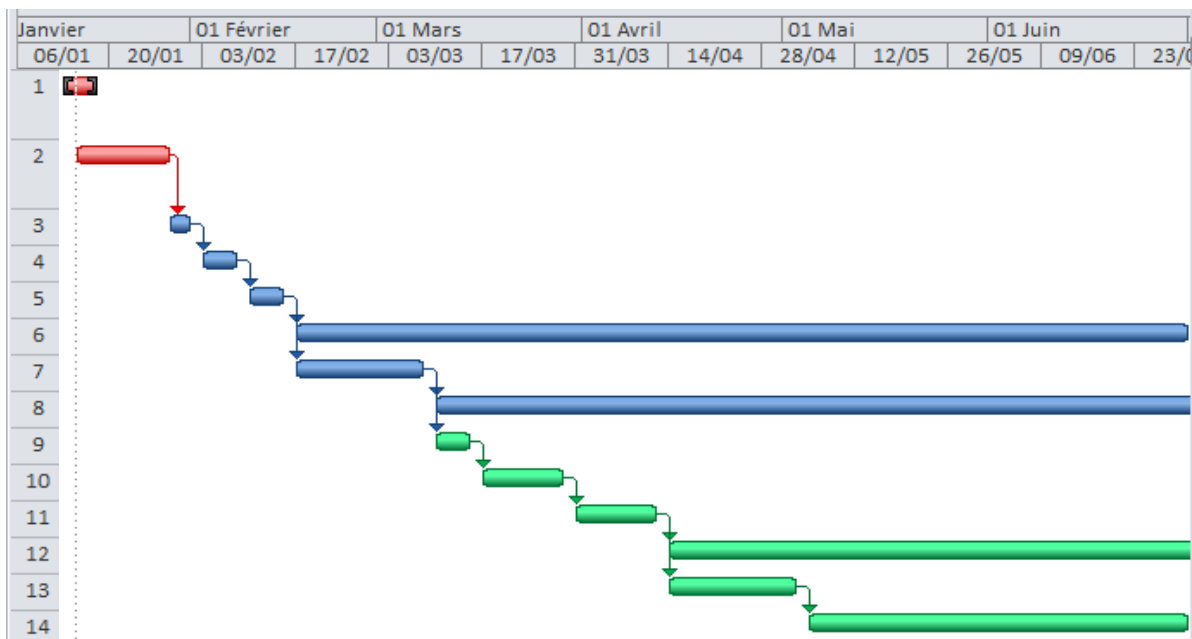
- Estudiar las herramientas lean
- Evaluar el estado inicial del taller
- Pensar qué herramientas lean pueden mejorar el estado actual del taller.
- Diseñar e implementar las herramientas
- Evaluar los resultados para comprobar que se observa mejora
- Establecer medidas para concienciar a los empleados de los beneficios del uso de esta herramienta.



## 1.4 CRONOGRAMA DEL PROYECTO

Vamos a ver cómo se desarrolla el proyecto durante los 6 meses de la práctica. Los horarios realizados eran de 36 horas por semana. Lo que representa un total de 900 horas trabajadas en la planta.

El reparto temporal global de las tareas era el siguiente.



*Figura 1 : diagrama de Gantt con la planificación del proyecto  
fuente : elaboración propia*

Código tarea	Denominación de la tarea	Durada (días)	principio	Fin
1	Formación inicial relativa a los procesos y al funcionamiento del taller	5	Lun 13/01/14	Vie 17/01/14
2	Formación relativa a la metodología LEAN implementada sobre otros talleres	10	Mer 15/01/14	Mar 28/01/14
3	Definición del proyecto sobre el islote de rectificación	3	Mer 29/01/14	Vien 31/01/14
4	Realización de las medidas ( islote rectificación)	5	Lun 03/02/14	Vie 07/02/14
5	Análisis ( islote rectificación)	5	Lun 10/02/14	Vie 14/02/14
6	Mejora del taller ( islote rectificación)	95	Lun 17/02/14	Vie 27/06/14
7	Primera fase de mejora ( islote rectificación)	15	Lun 17/02/14	Vie 07/03/14
8	Control de los resultados ( islote rectificación)	80	Lun 10/03/14	Vie 27/06/14
9	Definición del proyecto sobre el islote NH-SH	5	Lun 10/03/14	Vie 14/03/14
10	Realización medidas (islote NH-SH)	10	Lun 17/03/14	Vie 28/03/14
11	Análisis (islote NH-SH)	10	Lun 31/03/14	Vie 11/04/14
12	Mejora del islote (islote NH-SH)	55	Lun 14/04/14	Vie 27/06/14
13	Primera fase de mejora(islote NH-SH)	15	Lun 14/04/14	Vie 02/05/14
14	Control de los resultados (islote NH-SH)	40	Lun 05/05/14	Vie 27/06/14

*Tabla 1 : lista de tareas del proyecto  
Fuente : elaboracion propia*

Como podemos ver en la figura 1 y la tabla 1, he empezado durante la primera semana a formarme con los procesos del taller y a conocer a las personas de los diferentes servicios. En paralelo a eso, mi tutor en la empresa me puso durante 10 días en contacto con la persona responsable de las actividades lean de los otros talleres. El objetivo fue descubrir los métodos empleados en la planta y la manera de implementarlos. Después, con mi tutor, jefe del taller, definimos el proyecto sobre el primer islote (rectificación). Así, las semanas siguientes empecé a medir los indicadores de dicho islote y a analizarlo. Después, la fase de mejora no empezó hasta el fin de la práctica. Fue al fin de la primera fase de mejora que decidimos empezar dos tareas. La primera fue empezar el control “permanente” de los resultados de las mejoras. La segunda fue empezar la definición del proyecto sobre el segundo islote (NH-SH). El proyecto sobre el segundo islote se desarrolló de misma manera que sobre el primero islote.

### 1.5 ESTRUCTURA DEL PROYECTO

Este documento se puede dividir en diferentes bloques:

- un primer bloque de “presentación” compuesto por los capítulos 1 y 2. Es decir la introducción y la descripción del grupo empresarial y de la planta donde se desarrolla el proyecto y del taller.
- un segundo bloque con el capítulo 3 que presenta de manera teórica la metodología empleada en el proyecto.
- un tercero bloque con los capítulos 4, 5 y 6 que trata el desarrollo “técnico” del proyecto con las fases de: medidas, análisis, mejora y finalmente, control de los resultados y análisis de la inversión necesaria. Cada capítulo se compone de una parte que trata del islote “rectificación” del taller y otra parte trata del islote “NH-SH”.
- un último bloque con el capítulo 7 que trata de las conclusiones y desarrollos futuros del proyecto.

Después de estos capítulos se encuentra otro con la bibliografía y anexos.



# **CAPITULO 2 :**

# **DESCRIPCION DE LA**

# **EMPRESA Y DEL**

# **TALLER**



## CAPITULO 2 . DESCRIPCION DE LA EMPRESA Y DEL TALLER

En este capítulo, voy a describir el entorno en el que se ha realizado el proyecto. En primer lugar, en el apartado 2.1, haré una descripción de la empresa (productos que fabrica, volúmenes de pedidos que maneja, etc.). A continuación, en el apartado 2.2 voy a presentar la planta concreta en la que he realizado el proyecto. Por último, en el apartado 2.3., presentaré el taller en el que he trabajado.

### 2.1 EL GRUPO EMPRESARIAL

Creado en 2001, el grupo MBDA es un líder industrial mundial en el sector de los misiles y de los sistemas de misiles. El grupo MBDA es el resultado de la fusión entre tres grupos aeronáuticos europeos. Aérospatiale Matra Missile que era una subsidiaria francesa de EADS, Matra BAé Dynamics una empresa franco-británica y Alenia Marconi Systems una empresa italiano-británica. En 2005 LFK (Alemania) fue adquirido por MBDA y en 2010 el grupo ha creado una oficina en España. (Véase la figura 2)

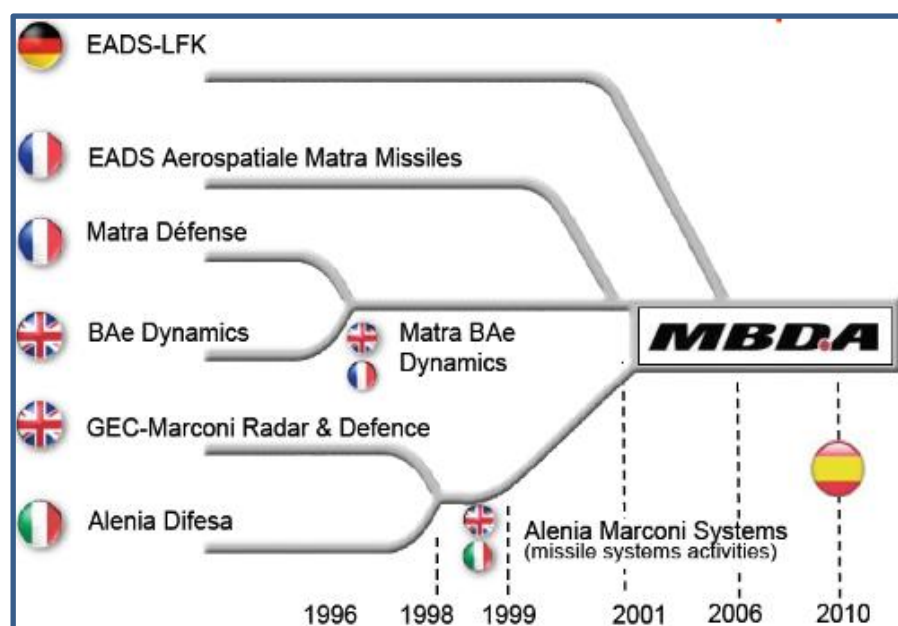


Figura 2 : creación de MBDA

Fuente : MBDA(2014)

Según muestra la figura 3, los tres accionistas mayoritarios de MBDA son AIRBUS GROUP (37.5%), BAE SYSTEMS(35,5%) y FINMECCANICA (25%). Se trata de una empresa internacional que agrupa seis naciones: Francia, Reino unido, Italia, Alemania, España y EE UU. El grupo tiene así las seis entidades: MBDA Francia, MBDA España, MBDA UK, etc. (Véase la parte inferior de la figura 3)

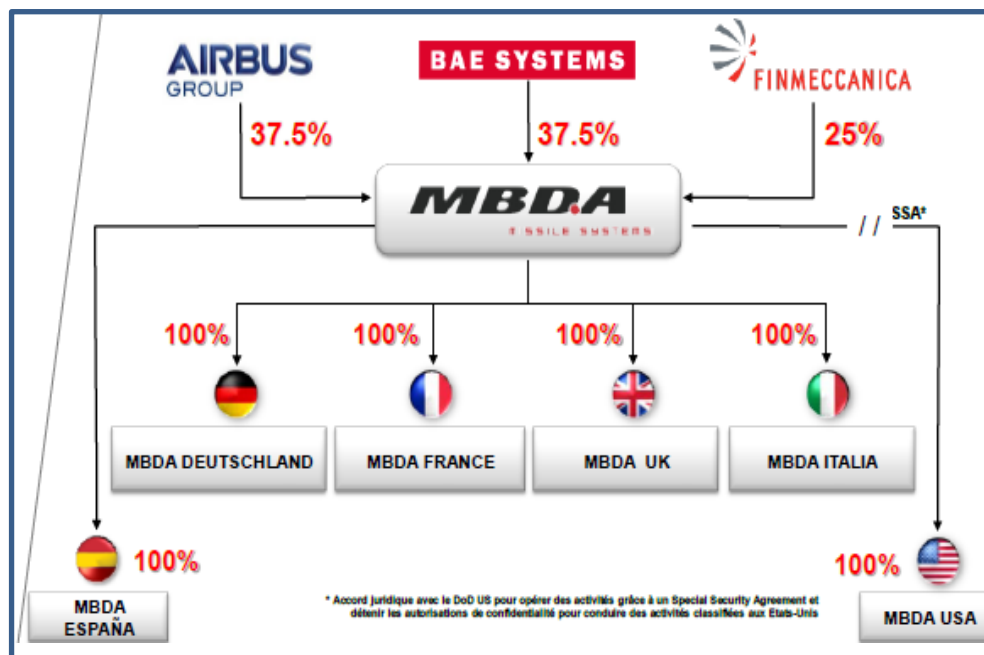


Figura 3 : accionistas y subsidiarias de MBDA

Fuente : MBDA (2014)

El grupo MBDA tiene aproximadamente 10000 empleados alrededor del mundo. MBDA Francia es la mayor entidad del grupo con 4500 empleados. La sede está en el Plessis-robinson (región de Paris). Vemos sobre la figura 4 la repartición de los empleados del grupo empresarial en Europa.

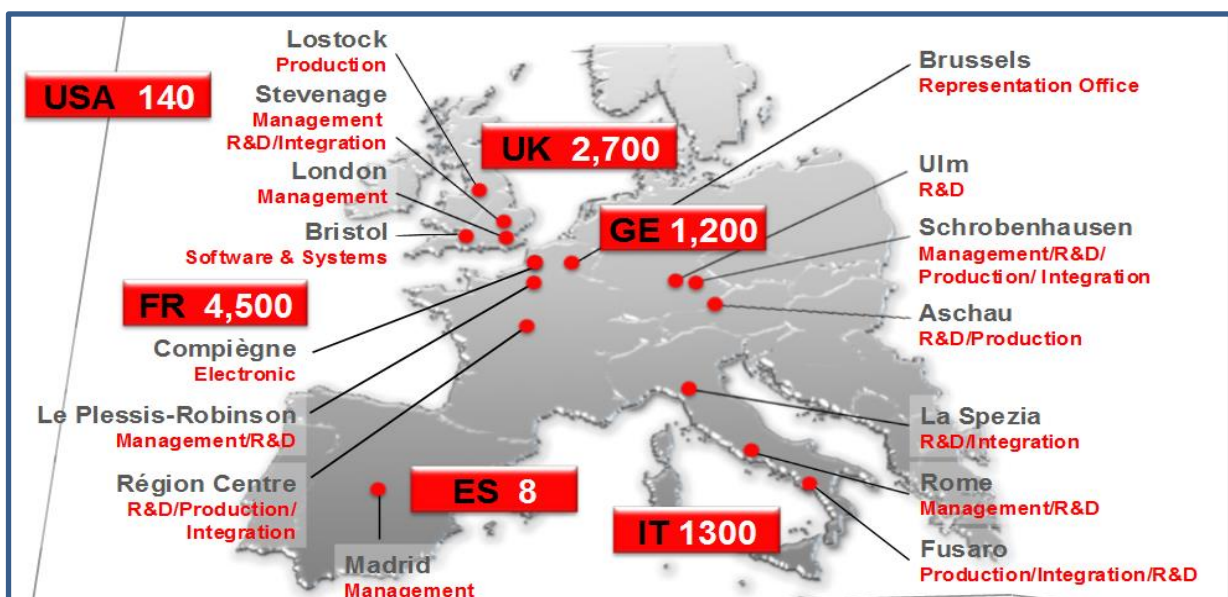


figura 4 : repartición de los empleados de MBDA

Fuente : MBDA (2014)

En 2013, el grupo ha realizado un volumen de negocios de 2.8 billones de euros (el segundo mundial en el sector de los sistemas de misiles). Para comparar, el líder mundial ( RAYTHEON - EEUU ) realizó 6 billones de ventas y el tercero (LOCKHEED MARTIN- EEUU) realizó 2.5 billones. Podemos ver sobre la figura 5 las cifras de los tres años precedentes para MBDA. En 2013, se observa que el número de pedidos (orders) ha pasado de los 2.3 billones de euros a 4.0 billones.

In € Billion	2011	2012	2013
Sales	3.0	3.0	2.8
Orders	2.6	2.3	4.0
Order Book	10.5	9.8	10.8

*Figura 5 : ventas y pedidos de MBDA*

*Fuente : MBDA (2014)*

MBDA diseña y produce:

- Sistemas de armas con misiles
- Una gama completa de misiles tácticos
- Equipos electromagnéticos de defensa
- Sistemas de simulación y entrenamiento para el combate
- Integración de los misiles sobre las plataformas aéreas, navales y terrestres
- Servicio y Soporte al cliente

MBDA está presente en cuatro áreas con 90 fuerzas armadas:

- Defensa Aérea
- Control del espacio aéreo
- La supremacía naval
- El combate en tierra

El grupo cuenta con la más amplia gama de productos en el mercado frente a sus competidores. Como muestra la figura 6, los productos cubren todas las necesidades de las armadas (tierra-aire, tierra-tierra, aire-aire, aire-tierra, antibuque, antitanque, antirradar, contramedida).



Field of activity	Surface-to-Air	Surface-to-Surface	Air-to-Air	Air-to-Ground	Anti-Ship	Anti-Radar	Anti-Tank	Counter-measures
MBDA	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Lockheed Martin	✓	✓		✓			✓	
Raytheon	✓	✓	✓	✓		✓	✓	

Figura 6 : gama de productos de MBDA

Fuente : MBDA (2014)

El grupo MBDA está presente en el mercado con tres grandes familias de misiles en programas internacionales de gran relevancia:

-los misiles Aire-Aire en el programa METEOR :



Figura 6.1: misil METEOR

Fuente : MBDA (2014)

- los misiles tierra-aire en el programa ASTER:



Figura 6.2: misil ASTER

Fuente : MBDA (2014)

-los misiles Aire-tierra en el programa SCALP/ STORM SHADOW:



Figura 6.3: misil SCALP/STORM SHADOW

Fuente : MBDA (2014)

Según muestra la figura 7, MBDA produce misiles para todas las plataformas de todas las armadas:



*Figura 7: plataformas de las armadas equipadas de misiles MBDA  
fuente: MBDA (2014)*

## 2.2 LA PLANTA DE BOURGES-AEROPUERTO (FRANCIA)

El presente proyecto fin de carrera se ha realizado en la planta de MBDA situada en Bourges-aeropuerto que vamos a describir en este apartado. Este sitio tiene unos 990 empleados sobre una superficie de 220000m<sup>2</sup>.



*Figura 7.1: Planta de Bourges-aeropuerto  
fuente: MBDA (2014)*

La planta de Bourges está orientada a la producción, así los empleados son mayoritariamente obreros (42%) y técnicos (27%). Los ingenieros y ejecutivos representan el 22% de los empleados.



La planta tiene 4 actividades principales:

- PMEE : Producción Mecánica y equipo electromecánico (el 73% de los empleados trabajan en esta actividad)
- PITL : producción instalación de tiro y lanzadores
- oficinas de proyectos
- sistemas de información

Este proyecto fin de carrera se ha desarrollado en la actividad PMEE que voy a describir con más detalle en el apartado 2.2.1.

### 2.2.1 PMEE

La misión de PMEE es industrializar y fabricar:

- piezas y subconjuntos mecánicos
- productos y subconjuntos de materiales compuestos
- equipos electromecánicos

Las figuras 8, 9 y 10 muestran ejemplos de piezas fabricadas en PMEE.



*figura 8 : producto de materiales compuesto  
fuente : MBDA (2014)*

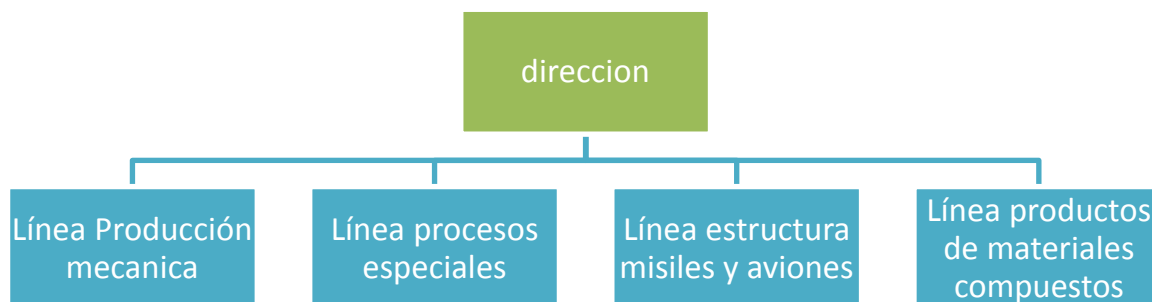


*Figura 9 : equipo electromecánico  
Fuente : MBDA (2014)*



*Figura 10 : ejemplo pieza mecánica*  
*Fuente : MBDA (2014)*

Como podemos ver sobre la figura 11, PMEE se compone de 4 líneas diferentes:



*Figura 11 : organización general de PMEE*  
*Fuente : MBDA (2014)*

- La línea de producción mecánica produce piezas mecánicas de todas las dimensiones (desde 1 mm a 6 metros).
- La línea de procesos especiales produce piezas o subconjunto que requieren de soldadura, pintura o tratamiento térmico.
- la línea de estructura misiles y aviones monta partes de misiles y también partes de aviones (para la empresa ATR)
- la línea productos de materiales compuestos está dedicada a la producción de todas las piezas producidas enteramente o parcialmente a partir de materiales compuestos.

Mi proyecto fin de carrera se enmarca en la línea de producción mecánica que vamos a describir en el próximo subapartado con más detalle.

### 2.2.2 LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN MECÁNICA

La línea de producción mecánica fabrica piezas mecanizadas complejas cuyas dimensiones van de 1mm a 6 metros y en una gran variedad de materias (aleación de aluminio, de hierro, titanio,...). Hay 200 empleados dentro esa línea que se dividen en 130 operarios, 20 controladores, 30 empleados de métodos de producción y los restantes son ingenieros y ejecutivos de producción. La línea tiene 3 talleres de producción: estructura, trozos y mini y micro mecánica.

- El taller de “estructura” fabrica piezas de grandes dimensiones que sirven de estructura a los misiles o para productos de empresas exteriores.
- El taller de “trozos”, fabrica piezas que son trozos de misiles. Se trata de piezas de medias o grandes dimensiones.
- El taller de “mini y micro mecánica” fabrica piezas que son componentes de pequeñas dimensiones.

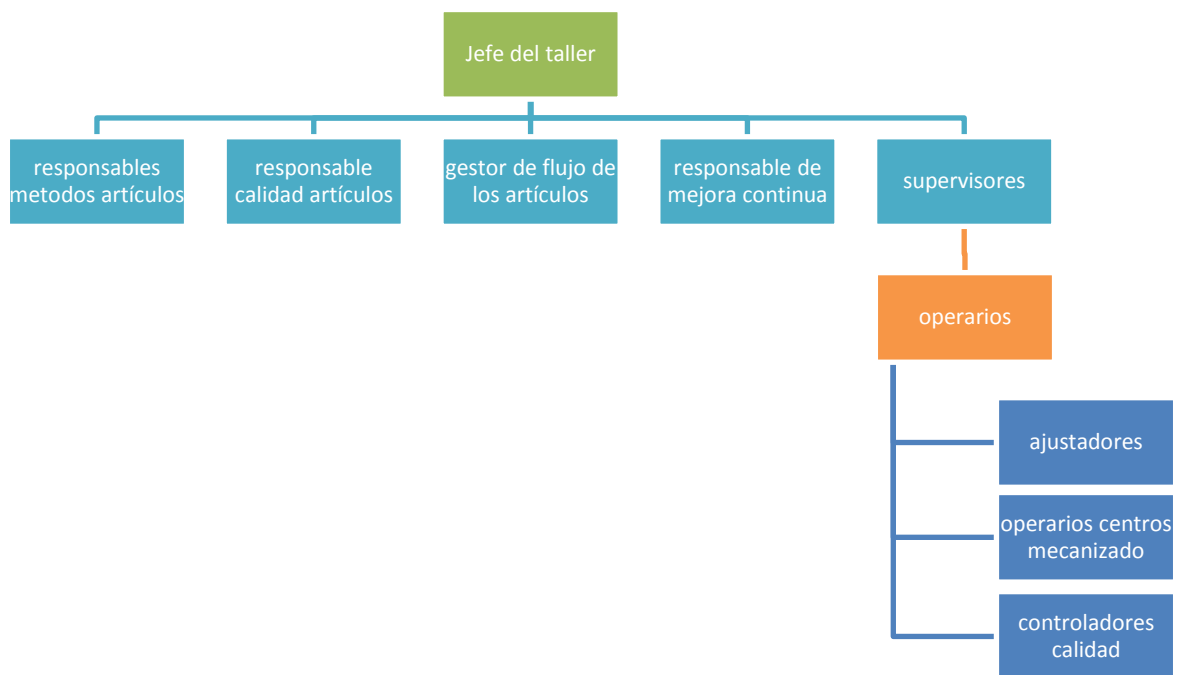
Mi proyecto se ha desarrollado dentro el taller de mini y micro mecánica que se explica con más detalle en el siguiente apartado.



*Vista general de la línea de producción mecánica*

### 2.3 EL TALLER DE MINI Y MICRO MECANICA

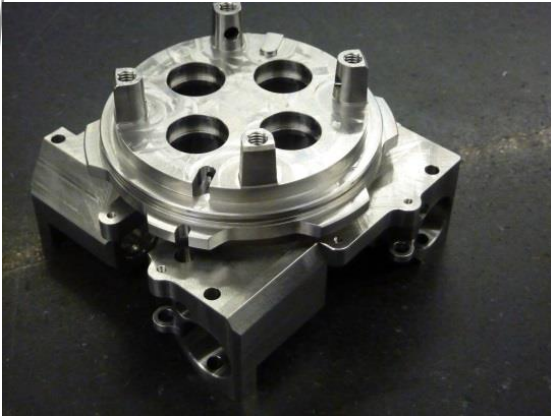
Se trata del taller que realiza las piezas de pequeñas dimensión (de 1mm a 20-30 cm) y con alta precisión (micro-metro). Se compone de 40 empleados repartidos con la jerarquía que se muestra en la siguiente figura. Por motivos de confidencialidad, no estoy autorizado a divulgar el número de personas que hay en cada cargo. Mi tutor en la empresa es el jefe del taller y como veremos en la parte dedicada a la definición del proyecto (capítulo 4), el equipo de este proyecto estaba constituida por: operarios, gestor de flujo, de los supervisores y responsable de calidad de los productos.



*Figura 12 : jerarquía del taller de mini y micro mecánica*  
*Fuente : MBDA (2014)*

Parte de las piezas fabricadas en el taller de mini y micro mecánica aparecen representadas en las figuras 13, 14, 15, 16 y 17 de la página siguiente. Se puede ver que son complejas, con muchas caras y bocas y muchas direcciones de mecanizado. Son piezas que tienen diferentes funciones en diversos misiles.

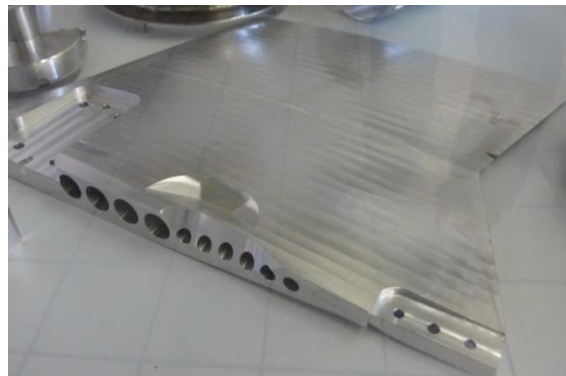




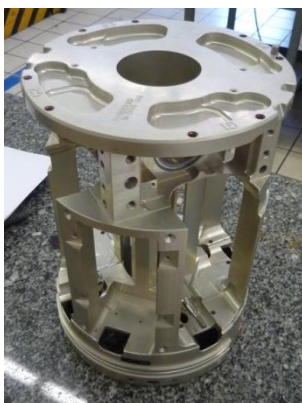
*figura 13 : ejemplo 1, pieza fabricada en el  
taller de mini y micro mecánica  
fuente : MBDA(2014)*



*figura 14 : ejemplo 2, pieza fabricada en el  
taller de mini y micro mecánica  
fuente : MBDA(2014)*



*Figura 15 : ejemplo 3, pieza fabricada en el taller de mini y micro mecánica  
Fuente : MBDA(2014)*



*figura 16 : ejemplo 4, pieza fabricada en el  
taller de mini y micro mecánica  
Fuente : MBDA(2014)*



*figura 17 : ejemplo 5, pieza fabricada en el  
taller de mini y micro mecánica  
Fuente: MBDA(2014)*

En este taller, hay diversas máquinas manejadas por los obreros.

- Centros de mecanizado (5 ejes y alta velocidad y alta precisión) (véase la figura 18).
- Centros de mecanizado (4 ejes, alta velocidad).
- Tornos (véase la figura 19).
- Fresadoras.
- Máquinas de electro-erosión (véase la figura 20).
- Rectificadoras (véase la figura 21).
- Puestos de ajuste (mecánica manual fina).
- Máquinas de medida tridimensional (véase la figura 22)



*figura 18 : ejemplo de centro de mecanizado*  
*fuelle : MBDA(2014)*



*figura 19 : ejemplo de torno alta velocidad*  
*fuelle : MBDA(2014)*



*figura 20 : ejemplo máquina de electro-erosión*  
*fuelle : MBDA(2014)*



*figura 21 : ejemplo de rectificadora*  
*fuelle : MBDA(2014)*



*Figura 22 : ejemplo de máquina de medida tri-dimensional*  
*Fuente : MBDA (2014)*

El taller trata muchas piezas diferentes. En efecto, existen unos 200 artículos diferentes. Estos son producidos en pequeños lotes. Por eso el taller está organizado en islotes de máquinas.

Hay 5 islotes:

- El primero con las máquinas de electro-erosión.
- El segundo con los tornos y las fresadoras.
- El tercero con dos centros de mecanizado (NH-SH) (4 ejes, alta velocidad)
- El cuarto con los centros de mecanizado de 5 ejes y alta velocidad y alta precisión.
- El último con las máquinas de rectificación.

Los islotes están alineados y en paralelo hay puestos de ajuste.

Además, el taller dispone de una sala de control calidad final con dos máquinas de medida tridimensional y un área de control calidad final cerca de las máquinas.

En este taller hay equipos de trabajo que trabajan en turnos de mañana, tarde y noche. Es decir que el taller está operativo 24h al día.

El proyecto se centra en mejorar el tercer islote (NH-SH) y el último (rectificación), así en el capítulo siguiente se describen con más detalle ambos islotes.

# **CAPITULO 3 :**

# **MARCO TEORICO :**

# **METODOLOGIA Y**

# **HERRAMIENTAS**

# **EMPLEADAS**





## CAPITULO 3 . MARCO TEORICO : METODOLOGIA Y HERRAMIENTAS EMPLEADAS

En este capítulo voy a explicitar de manera teórica la metodología y las herramientas que he utilizado en este proyecto fin de carrera. En el apartado 3.1, explicaré la herramienta DMAIC, cuyas etapas han servido de guía para abordar el desarrollo de mi proyecto de forma estructurada. En los apartados 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6 y 3.7 voy a explicar algunas de las herramientas utilizadas a lo largo de los capítulos 4 y 5 de este proyecto.

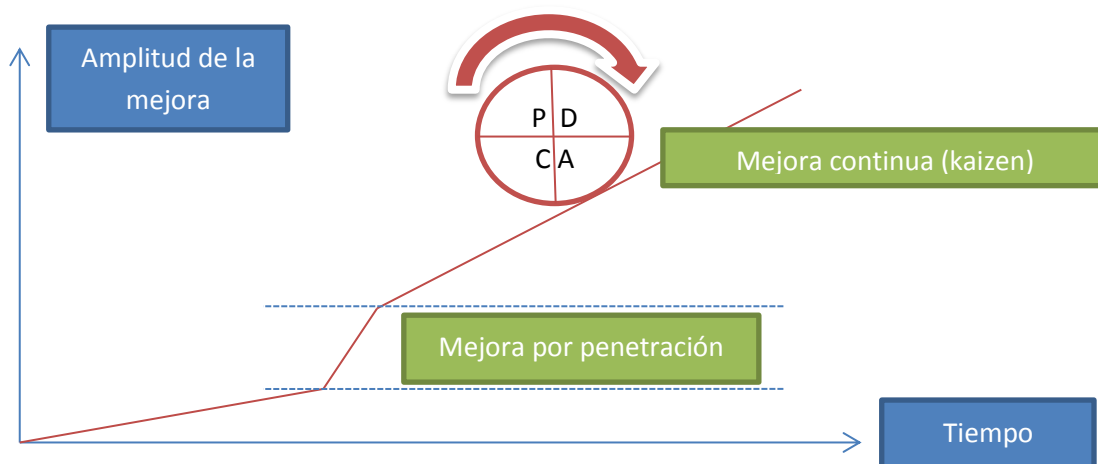
### 3.1 HERRAMIENTA DMAIC

En una implantación lean, la herramienta DMAIC (define, measure, analyse, improve, control) guía al equipo de proyecto en la mejora de los procesos ofreciendo un marco de trabajo y diferentes puntos de validación.

El objetivo es evitar errores de juicio y basarse en hechos cuantificados.

Hay dos tipos de mejoras en los proyectos Lean, la mejora continua (Kaizen) y la mejora por “penetración”. Con la mejora continua esperamos resultados en el medio plazo, mientras que con la segunda, queremos observar resultados en el corto plazo. ( véase la figura 23 )

Mi proyecto fin de carrera es un ejemplo de mejora por penetración, ya que se pretendían obtener resultados en un periodo corto de tiempo, 6 meses.



*Figura 23 : ilustración de la mejora continua y de la mejora por penetración*

*Fuente : XL Consultant (2014)*

Para la mejora continua utilizamos, en general, la herramienta PDCA. Sin embargo, para la mejora por penetración se utiliza la herramienta DMAIC.

En general, se prefiere utilizar la herramienta DMAIC cuando hay más riesgos de lanzar un proyecto de mejora. En efecto, los proyectos de mejora por penetración son más costosos que los proyectos de mejora continua y la herramienta DMAIC limita los riesgos y justifica más el hecho de lanzar un proyecto con una inversión importante.

Las etapas de la herramienta DMAIC, aplicada como metodología en este proyecto, aparecen representadas en la siguiente figura.



*Figura 24 : etapas de la metodología DMAIC*  
*Fuente : techniques de l'ingénieur, [AG5195]*

#### 1 : DEFINE : définir

En general, se constata que las mejoras realizadas en las empresas no llevan a los resultados esperados. Los equipos de proyecto constatan en la mayor parte de los casos que el hecho de tratar un problema lleva a desviar el problema. Así, es imprescindible definir precisamente los problemas antes de empezar cualquier mejora. No debemos olvidar que un proyecto de mejora debe impactar sobre la satisfacción del cliente y la mejora de la eficiencia, es decir debe llevar a alcanzar una mejor competitividad. La definición del problema de estudio que se aborda en este proyecto se detalla en apartado 4.1 de este documento.

#### 2 : MEASURE : medir

Durante un proyecto, los “a priori” son peligrosos y llevan a errores de juicio. Las medidas permiten mostrar la realidad y basar las acciones en hechos cuantificados. Los objetivos de esta etapa son hacer una cartografía del funcionamiento del proceso, identificar los indicadores...

Existen muchas técnicas para medir, pero como la simplicidad es una palabra clave dentro del Lean, se debe utilizar herramientas comprensibles para todos. Por eso se puede realizar por ejemplo: un diagramas SIPOC (supplier, input, process, output, customer)(véase más detalle en el apartado 3.7), diagramas de flujos (para representar el movimiento de productos y obreros)(véase más detalle en el apartado 3.6) , y un diagrama de flujo de valor ( VSM – value Stream Mapping).

Los diagramas ayudan a entender el funcionamiento del proceso y los indicadores de producción muestran la eficiencia del proceso. Con los sistemas de información, es posible obtener una multitud de datos y tener el histórico de estos. Con esa multitud de datos a analizar, es imprescindible asegurarse de la pertinencia y de la exactitud de los datos.

Es importante también, tener un enfoque “taller”, es decir analizar con los operarios los problemas, lo que permite recoger directamente las disfunciones. Las medidas de este proyecto se detallan en el apartado 4.2 de este documento.

### 3 : ANALYSE : analizar

Ahora, se necesita entender las disfunciones para poder formular las soluciones que podrían permitir alcanzar los objetivos esperados. El objetivo de esta fase es identificar y cuantificar las causas que originan disfunciones. Se pueden utilizar herramientas analíticas y estadísticas para poner las disfunciones en evidencia (diagrama de Ishikawa, Pareto,...). El análisis del problema de estudio se detalla en apartado 4.3 de este documento.

### 4:IMPROVE : mejorar

Las etapas precedentes permitieron identificar las disfunciones claves. El equipo de proyecto se familiarizó con el funcionamiento del proceso, así puede imaginar soluciones pertinentes. El trabajo en equipo es fundamental para el éxito de esta etapa. El Brainstorming es una herramienta ideal para generar la reflexión del equipo, y los benchmarks permiten considerar nuevos ejes de reflexión. Todas las ideas pueden ser referenciadas dentro una matriz para ser evaluadas según criterios de eficiencia, financieros y de factibilidad. Asociado con una matriz de riesgos, este método permite sintetizar todas las soluciones.

Una planificación detallada permite planificar los recursos necesarios y dirigir la implementación y así como planificar las ganancias. Las mejoras pueden desarrollarse en varias etapas para validar progresivamente las soluciones implementadas.

La etapa de mejora del problema de estudio se detalla en capítulo 5 de este documento.

### 5: CONTROL : Controlar

Una vez que una solución está implementada, esta etapa permite mostrar los beneficios de dicha solución. Los indicadores permiten seguir la evolución de la situación y validar las ganancias. Conviene comunicar visualmente los resultados a todos los sectores implicados. Para garantizar la perennidad de las acciones, es necesario formalizar los nuevos métodos de trabajo.

La etapa de control del problema de estudio se detalla en capítulo 6 de este documento.

### 3.2 DIAGRAMA SIPOC

El diagrama SIPOC, por sus siglas en inglés (Supplier, Inputs, Process, Outputs, Customers), es la representación gráfica de un proceso de gestión. Esta herramienta permite visualizar el proceso de manera sencilla, identificando las partes implicadas en el mismo:

- **Proveedor** (supplier): persona que aporta recursos al proceso
- **Recursos** (inputs): todo lo que se requiere para llevar a cabo el proceso. Se considera recursos a la información, a los materiales e incluso, a las personas.
- **Proceso** (process): conjunto de actividades que transforman las entradas en salidas, dándoles un valor añadido.
- **Salidas** (outputs) : todo lo que sale del proceso
- **Cliente** (customer): la persona que recibe el resultado del proceso. El objetivo es obtener la satisfacción de este cliente

He utilizado esta herramienta en el apartado 4.1 para la definición del proyecto.

### 3.3 EL METODO DE LAS “5M”

Es un sistema de análisis estructurado en el que se fijan cinco pilares fundamentales alrededor de los cuales giran las posibles causas de un problema. Estas cinco “M” son las siguientes:

- máquina
- método
- mano de obra
- medio ambiente
- materia prima

He utilizado esta herramienta en las primeras fases de medidas sobre los islotes NH-SH y rectificación, es decir en los apartados 4.2.1 y 4.2.2.

### 3.4 DIAGRAMA DE HILOS

Es un plano o un modelo a escala en que se sigue y mide con un hilo el trayecto de los trabajadores, de los materiales o del equipo durante una sucesión determinada de hechos. Es un complemento valioso al diagrama de curso analítico para desarrollar un nuevo método de trabajo. Lo habitual es que se utilice para seguir los movimientos de los trabajadores. En el plano a escala, deben incluirse las máquinas, bancos, depósitos y todos los puntos del recorrido, así como puertas, tabiques, etc., que influyan en el trayecto seguido.

He utilizado esta herramienta en los apartados 4.2.1 y 4.2.2 para las fases de medida sobre los islotes NH-SH y de rectificación.

### 3.5 CURSOGRAMA ANALITICO

El cursograma analítico es un diagrama que aborda un proceso de modo detallado, en efecto, en él se encuentran incluidas e ilustradas las cinco actividades fundamentales que son: las operaciones, las inspecciones, las esperas, los movimientos y los almacenamientos.

Es por ello que se toma como una segunda etapa, donde se introducen los detalles relativos al almacenamiento, la manipulación y el movimiento de los materiales entre las operaciones inherentes a la fabricación.

Al cursograma analítico se le conoce también como diagrama de flujo o curso del proceso, ya que expone la "circulación o sucesión de los hechos en un proceso", ya que representa gráficamente el orden en que se suceden las operaciones, las inspecciones, los transportes, las demoras y los almacenamientos durante un proceso o un procedimiento. También incluye información adicional, tal como el tiempo necesario y la distancia recorrida (véase en la siguiente figura al lado de la descripción de la actividad).

He utilizado esta herramienta en los apartados 4.2.1 y 4.2.2 para las fases de medida sobre los islotes NH-SH y de rectificación.

CURSOGRAMA ANALÍTICO				Operario / Material / Equipo			
Diagrama no.1		Hoja: 1 de 1		Resumen			
Producto:		ETIQUETAS INDUSTRIALES		Actividad	Actual	Propuesto	Economía
Actividad:		CORTAR, DESENGRASAR, IMPRIMIR, SECAR, PLANCHAR, INSPECCIONAR.		Operación ○	13	11	2
Método: <del>actual</del> / propuesto				Inspección □	5	5	0
Lugar: NAVE INDUSTRIAL				Espera D	3	1	2
Operario (s):		Ficha no.		Transporte ⇨	5	2	3
Compuesto por:		Fecha: 24/08/98		Almacenamiento ▽	1	1	0
Aprobado por:		Fecha:		Distancia (mts.)	42.55	36.05	6.50
				Tiempo (hrs.-hom.)			
				Costo			
				Mano de obra			
				Material			
				TOTAL			
DESCRIPCIÓN	Cantidad	Distancia	Tiempo	Actividad	OBSERVACIONES		
EN ALMACEN ROLLOS DE P.V.C.				○ □ D ⇨ ▽			
TRANS DE P.V.C. A GUILLOTINA GRANDE		32.2 m			CON CARRETILLA		
CORTE PRELIMINAR A 16 x 26 cm.					CORTADORA MANUAL.		
DESENGRASADO					SIN BASURA		
INSPECCION DE DESENGRASADO					MANUAL E INDIVIDUAL.		
TRANS. A PROCESO COLOR AZUL		2.85 m					
COLOCACION DE LA IMPRESION EN AZUL					SIN POLVO Y BASURA		
INSPECCION DE LA IMPRESION					DURANTE 12 HRS.		
SECADO DE LA IMPRESION EN AZUL							
COLOCACION DE LA IMPRESION EN AMARILLO					SIN POLVO Y BASURA		
INSPECCION DE LA IMPRESION.					DURANTE 12 HRS.		
SECADO DE LA INSPECCION.							
COLOCACION DE LA IMPRESION EN ROJO.							

Figura 25 : ejemplo de cursograma analítico

Fuente : [www.sites.upiicsa.ipn.mx](http://www.sites.upiicsa.ipn.mx) (2014)

### 3.6 LOS INDICADORES DE EFICIENCIA DEL TPM

TPM ( total productive maintenance) es el mantenimiento productivo total, se trata de una marca depositada por el JIPM ( japan institute of plant maintenance). Es una filosofía originaria de Japón, la cual se enfoca en la eliminación de pérdidas asociadas con paradas, problemas de calidad y costes en los procesos de producción. El TPM se enfoca sobre el funcionamiento del equipamiento del taller para mejorar su fiabilidad y la disponibilidad de las máquinas de producción.

El TPM busca agrupar a toda la cadena productiva con miras a cumplir objetivos especificados y cuantificables. Uno de los objetivos del TPM más interesantes para mi proyecto fin de carrera es que busca cumplir la reducción de las pérdidas de tiempo productivo en los equipos. En el TPM se destacan seis grandes pérdidas:

- pérdidas por avería en los equipos (pérdidas de tiempo inesperadas)
- pérdidas debidas a preparaciones (iniciación de una nueva operación, ajustes de máquinas,...)
- pérdidas por funcionamiento a velocidad reducida
- pérdidas por defecto de calidad (al tener que rehacer partes, o reparar piezas,...)
- pérdidas por tiempos muertos y paradas pequeñas
- pérdidas en funcionamiento por puesta en marcha del equipo (marca blanca, periodo de prueba,...)

El TPM tiene su sistema de medida y su indicador clave es la eficiencia general de los equipos ( OEE : Overall Equipment Efficiency).

Para mi proyecto y para efectuar mis medidas sobre los medios de producción (recogidas en el apartado 4.2 de este documento), he tomado como referencia la norma francesa para las empresas: **NF E60-182**. Esa norma define el modo de cálculo de los indicadores de productividad y rendimiento para el TPM.

Según el TPM, tenemos los tiempos siguientes:

**Tiempo total  $T_t$**  : tiempo de referencia integrando todos los estados posibles del medio de producción. Para un día, el tiempo es de 24h, para una semana es de 168h, ...

**Tiempo de apertura  $T_o$**  : parte del tiempo total que corresponde a la amplitud de los horarios de trabajo del medio de producción. En mi proyecto considero que se trata del tiempo en el que hay un obrero dedicado a la máquina considerada como objeto de estudio. Así podemos descomponer este tiempo en tres:

- el tiempo de apertura potencial (máximo posible con los obreros)
- tiempo de apertura previsto (margen previsto por el industrial)
- tiempo de apertura real (efectivo) (se puede ver el absentismo de los obreros)

**Tiempo requerido  $T_r$ :** parte del tiempo de apertura durante el cual el industrial quiere que la máquina funcione para producir. Contiene los tiempos de paradas programadas (margen tomado por el tiempo de mantenimiento y el tiempo de parada estimado)

**Tiempo de funcionamiento  $T_f$ :** parte del tiempo requerido durante el cual el medio de producción produce realmente piezas ( malas o buenas), con respecto o no al tiempo de ciclo normal ( cadencia normal o no).

**Tiempo neto  $T_n$ :** parte del tiempo de funcionamiento durante el cual el medio de producción produce piezas buenas y malas pero con respecto a la cadencia normal.

**Tiempo útil  $T_u$ :** parte del tiempo neto que corresponde al tiempo durante el cual el medio produce piezas buenas a cadencia normal.

Todos estos tiempos aparecen representados en la siguiente figura :

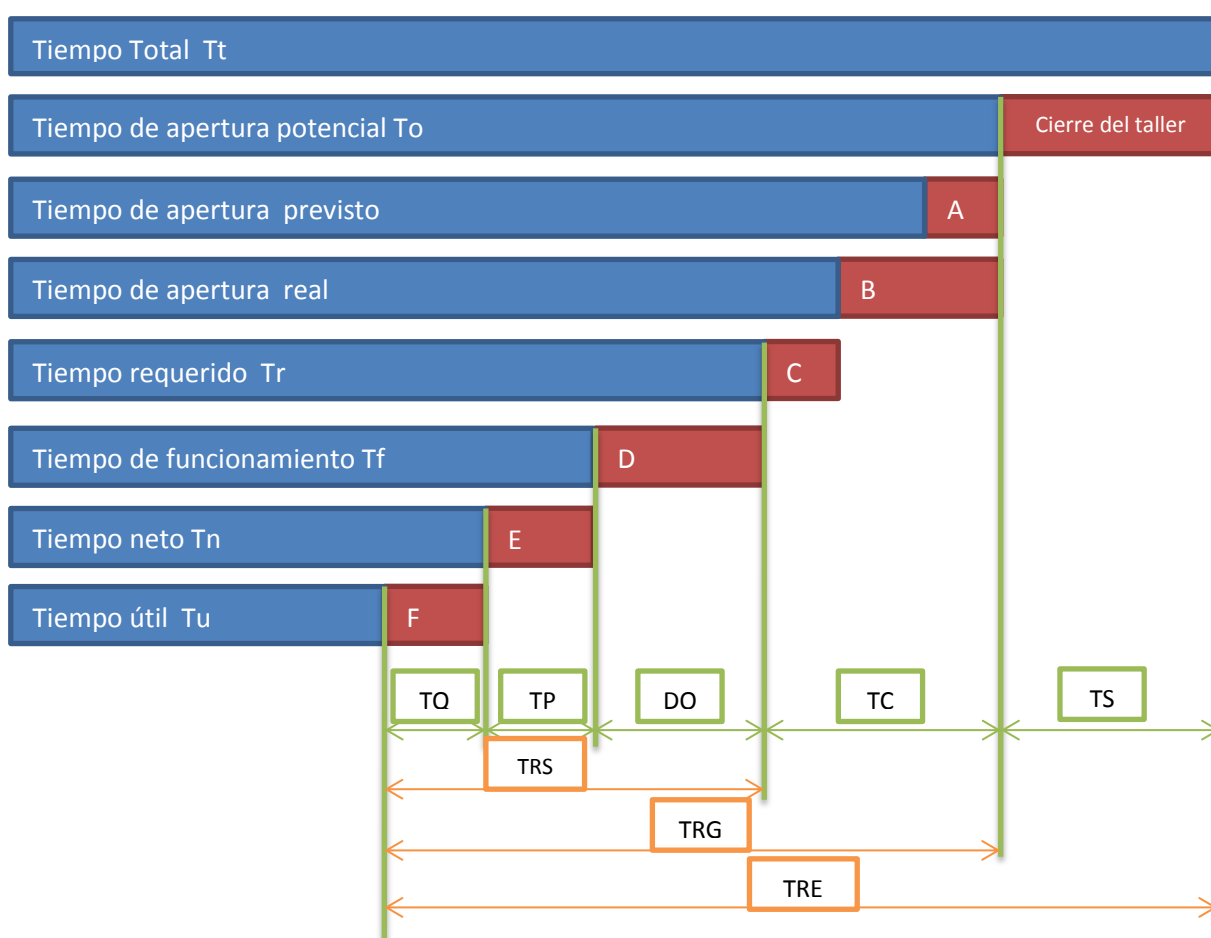


Figura 26: Tiempos del TPM  
Fuente : Norma francesa NF E60-182

A continuación, se indica el significado de los indicadores de eficiencia TPM que aparecen representados en la figura 26.



Aquí se muestran los diferentes tiempos de pérdidas que podemos observar sobre el medio de producción estudiado:

- A:** margen prevista por el absentismo de los obreros
- B :** absentismo real
- C :** carga de trabajo reducido, mantenimiento preventivo, margen para paradas,...
- D:** paradas máquinas reales
- E :** diferencia de cadencia ( disminución de la velocidad)
- F :** mala calidad de piezas

Según el TPM, los índices siguientes permiten relacionar de dos en dos los diferentes tiempos de pérdidas mostrados en la figura 26 y permiten evaluar el peor ratio entre cada tiempo:

- TQ :** índice de calidad (  $T_u/T_n$ )
- TP :** índice de eficiencia (  $T_n/T_f$ )
- DO :** disponibilidad operacional (  $T_f/T_r$ )
- TC :** índice de carga (  $T_r/T_o$ )
- TS:** índice de compromiso estratégico (  $T_o/T_t$ )

Los índices siguientes son los índices generales del TPM, es decir que permiten evaluar de manera general el rendimiento del medio de producción estudiado:

- TRS :** índice de rendimiento sintético (  $T_u/T_r$ ) =  $(TQ*TP*DO)$
- TRG :** índice de rendimiento (eficiencia) general (  $T_u/T_o$ )
- TRE :** índice de rendimiento económico (  $T_u/T_t$ )

Los tres últimos índices vistos antes nos permiten ver la evolución de la capacidad del medio de producción. Además, dichos índices pueden ser utilizados para ver cómo vamos a producir la carga de trabajo futura si conservamos esos rendimientos. Esto se explica con más detalle en el apartado 3.7.

### 3.7 ESTIMAR UN PLAN DE PRODUCCIÓN FUTURO GRACIAS A LOS RENDIMIENTOS ACTUALES DEL MEDIO DE PRODUCCIÓN.

Podemos estimar un plan de producción futuro gracias a la planificación de la carga de trabajo futura y a los rendimientos observados sobre el medio de producción. Es decir podemos ver cómo vamos a producir la carga si conservamos los rendimientos de producción actuales (los que hemos visto en el apartado 3.6).

En general, el plan de producción está hecho con el tiempo de secuencia de mecanizado. Con los rendimientos de producción del medio de producción, podemos estimar el retraso que vamos a tener (sobre este plan de producción) si conservamos la eficiencia actual.



En efecto:

-el índice de calidad (TQ, según el apartado 3.6) nos dice hay piezas malas, es decir que si queremos realizar la carga de trabajo, tenemos que rehacerlas lo que provoca retraso.

-El índice de eficiencia (TP, según el apartado 3.6) nos dice que nos va a llevar más tiempo de lo normal hacer una pieza, es decir que para realizar la cantidad definida vamos a tener un retraso.

-La disponibilidad operacional (DO, según el apartado 3.6) nos dice el porcentaje del tiempo que una máquina está parada. Es decir que si la máquina está parada no podemos producir y que tendremos un retraso porque deberemos producir más tarde.

Así con el TRS (producto de esos tres índices anteriores), podemos tener el porcentaje de tiempo que necesitamos de más para producir la carga del plan inicial de producción. Es decir que si tenemos un medio de producción que debe producir piezas en un tiempo de X horas (cadencia normal), y este medio tiene un TRS de Y%. Por tanto se necesita X/Y horas para realizar la cantidad de piezas buenas.

A continuación, voy a ilustrar esta técnica con un ejemplo.

#### **Ejemplo :**

Tenemos dos puestos de trabajo, el puesto 1 y el puesto 2. El puesto de trabajo 1 proporciona carga al puesto de trabajo 2. Vamos a evaluar un periodo de producción de 3 semanas. Consideramos que las entregas al puesto 2 se hacen directamente cuando el puesto 1 ha acabado su trabajo sobre el lote. El tiempo de realización para un lote sobre el puesto 1 es de X horas.

Vemos sobre la figura 27 que hay dos bloques.

- El primer bloque corresponde al escenario ideal en el que no hay retrasos. Es decir que es como si los dos puestos de trabajo funcionaran con un TRS de 100%, sin pérdidas de tiempo. Según lo previsto la primera entrega se hace durante la primera semana y la segunda durante la segunda semana.

- En el segundo bloque, tomamos en cuenta el TRS real de los puestos de trabajo. Sea un TRS de 50%. El tiempo de realización de la carga previsto va a aumentar y tendremos una carga de X horas con una sobrecarga de x horas, sea un tiempo de realización de 2.X horas. Así, podemos ver los retrasos sobre la figura ya que la primera entrega se hace la segunda semana y la segunda entrega se hace la tercera semana.

Los códigos de colores corresponden al tiempo suplementario necesario para la realización de la carga porque la disponibilidad operacional, el índice de eficiencia y el índice de calidad no son de 100%. El verde es el tiempo suplementario causado por la disponibilidad operacional, el rojo por el índice de eficiencia y el violeta por el índice de calidad.

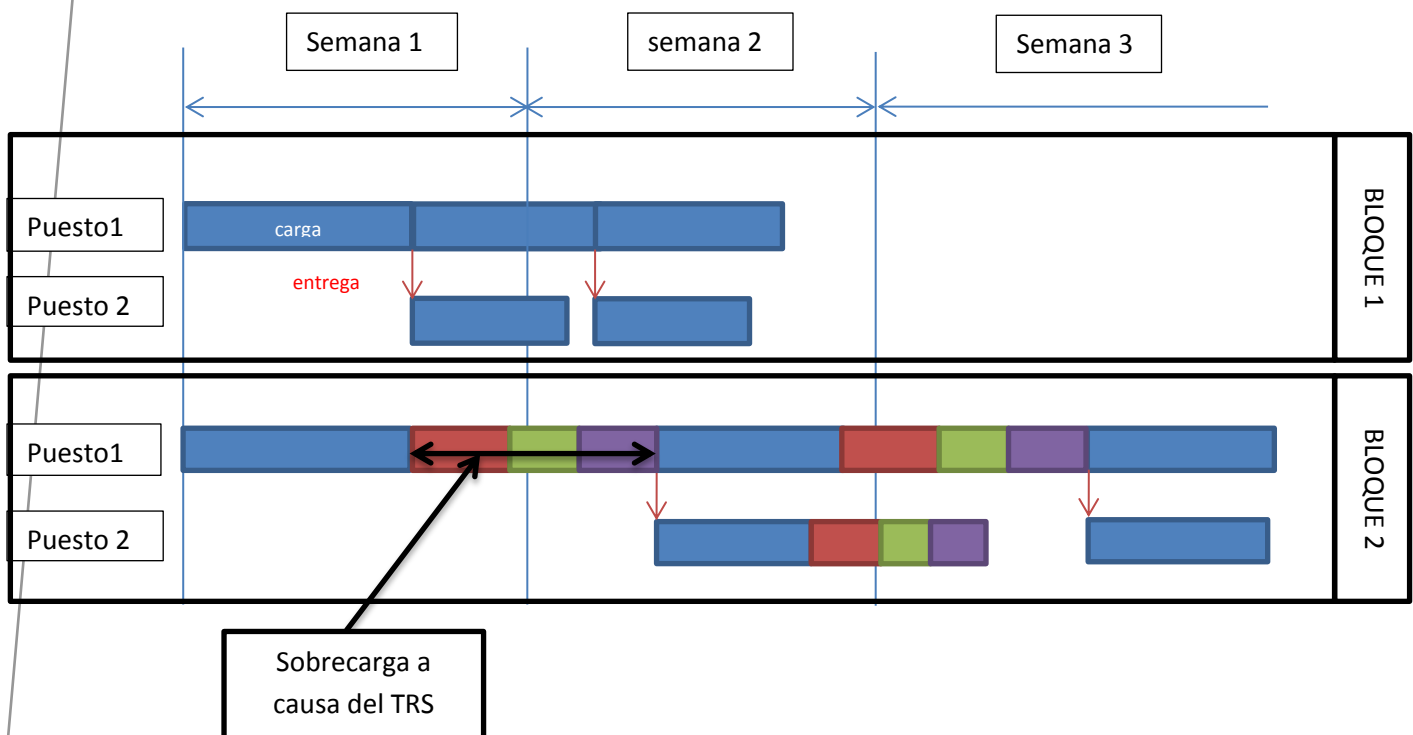


Figura 27 : ilustración de la influencia del rendimiento sobre los tiempos de producción

Fuente: elaboración propia

### Calculo del retraso

A continuación, vamos a ver cómo podemos calcular la carga de un puesto de trabajo en función del retraso que genera el puesto de trabajo precedente en la entrega de trabajos y en función de los rendimientos de los medios de producción.

### Hipótesis:

- Tenemos dos puestos de trabajo: P1 y P2 (véase en la figura 28 como 1 y 2)
- La secuencia es la siguiente: P1 primero y después P2
- Cuando el puesto P1 ha acabado su trabajo, tiene que entregarlo directamente al puesto P2.
- Consideramos que en el mes  $n$ , la carga de trabajo del puesto P2 es la carga que procesa el puesto P1 en el mismo mes  $n$ .
- El puesto P1 tiene un rendimiento  $TRS_1$  y P2,  $TRS_2$ .
- Cada puesto tiene una capacidad de recurso humano definida por  $Capa_1$  y  $Capa_2$  (véase en la figura 28 como 3 y 4)
- El plan de producción de los dos puestos de trabajo está definido y no hay sobrecarga inicial. Es decir que, en teoría, los recursos son suficientes para realizar el trabajo previsto.

- Denominación de la carga al puesto P1 en el mes  $n$  :  $CP1(n)$  (véase en la figura 28 como 5)
- Denominación de la carga al puesto P2 en el mes  $n$  :  $CP2(n)$  (véase en la figura 28 como 6)
- Denominación de la carga al puesto P2 en el mes  $n-1$  :  $CP2(n-1)$  (véase en la figura 28 como 7)

Cálculo :

-Primero, nos concentramos sobre en puesto P1 en el mes  $n$  :

Calculamos la carga real del puesto P1 en el mes  $n$  ( $CP1trs(n)$ ), tomando en cuenta el rendimiento del puesto de trabajo, es decir TRS1 :  **$CP1trs(n) = CP1(n) / TRS1$**  (véase en la figura 28 como 8)

Deducimos la sobrecarga P1 al mes  $n$  ( $SCP1(n)$ ) :  **$SCP1(n) = CP1trs(n) - Capa1$**  (véase en la figura 28 como 9)

Sea el porcentaje de artículos no-producidos por P1 :  **$\%art = SCP1(n)/CP1trs(n)$** , se trata también del porcentaje que no podemos entregar en el puesto 2 al mes  $n$ . (véase en la figura 28 como 10)

Sobre la figura 28, los rectángulos rojos representan el tiempo que el TRS ha añadido a la carga. Por ejemplo, por el puesto 1 en el mes  $n$ , este tiempo es igual a  **$CP1trs(n) - CP1(n)$** .

-Segundo, concentramos sobre el puesto de trabajo P2 en el mes  $n$ :

Calculamos la carga del puesto de trabajo P2 en el mes  $n$ , tomando en cuenta el TRS de este puesto:  
Sea  **$CP2trs(n) = CP2(n) / TRS2$** . (Véase en la figura 28 como 11)

Para obtener la cantidad de carga que no podemos realizar ya que no tenemos los artículos (falta de entrega), tomamos el porcentaje de artículos no-entregados calculado antes.

Es decir que  $\%art$  de  $CP2trs(n)$  no podrían ser producidos:

**$CP2trsart(n) = CP2trs(n) - \%art * CP2trs(n)$**

o lo que es lo mismo  **$CP2trsart(n) = CP2trs(n) * (1 - \%art)$**  (Véase en la figura 28 como 12)

Tenemos la carga del puesto P2 en el mes  $n$  considerando el rendimiento real del medio de producción y tomando en cuenta la no-entrega de algunos artículos por el puesto P1 en el mes  $n$ . A continuación, vamos a tomar en cuenta que tenemos una carga suplementaria: la sobrecarga que no fue producida por el puesto P2 en el mes  $n-1$ . Esta sobrecarga puede provenir tanto del rendimiento malo de P2 en el mes  $n-1$  como de la no-entrega de los artículos de P1 en el mes  $n-1$ .

-suponiendo está última causa, vamos a concentrarnos sobre el puesto P2 en el mes n-1:

Calculamos el retraso de carga debido al rendimiento del puesto P2 en el mes n-1.

$$\text{CP2 trs ( n-1)} = \text{CP2(n-1)}/\text{TRS2}$$

Deducimos Sobrecarga de P2 en el mes n-1:  $\text{ScP2(n-1)} = \text{CP2real(n-1)} - \text{Capa2}$

El retraso por el mes n :  $\text{RP2(n)} = \text{ScP2(n-1)}$  (Véase en la figura 28 como 13)

- Al final, la carga real del puesto 2 en el mes n es:

La carga prevista con la consideración del rendimiento real del puesto P2 ( $\text{CP2trs(n)}$ )

Menos la carga que corresponde a los artículos no entregado a causa del rendimiento del puesto P1  
( $\text{\%art} \cdot \text{CP2trs(n)}$ )

Más el retraso a producir debido al mes precedente ( $\text{RP2(n-1)}$ )

$$\text{CP2real(n)} = \text{CP2trs(n)} - \text{\%art} \cdot \text{CP2trs(n)} + \text{RP2(n-1)}$$

$$\text{CP2real(n)} = \text{CP2trs(n)}(1 - \text{\%art}) + \text{RP2(n-1)}$$

$$\text{CP2real(n)} = (\text{CP2(n)} / \text{TRS2}) * (1 - \text{\%art}) + \text{RP2(n)} \text{ (Véase en la figura 28 como 14)}$$

En mi proyecto, he utilizado esta herramienta en el apartado 5.2.4 para calcular los recursos humanos necesarios según un plan de carga definido y según el rendimiento del medio de producción. Para calcular los recursos humanos necesarios he hecho una herramienta informática. Para construirla he utilizado esos cálculos.

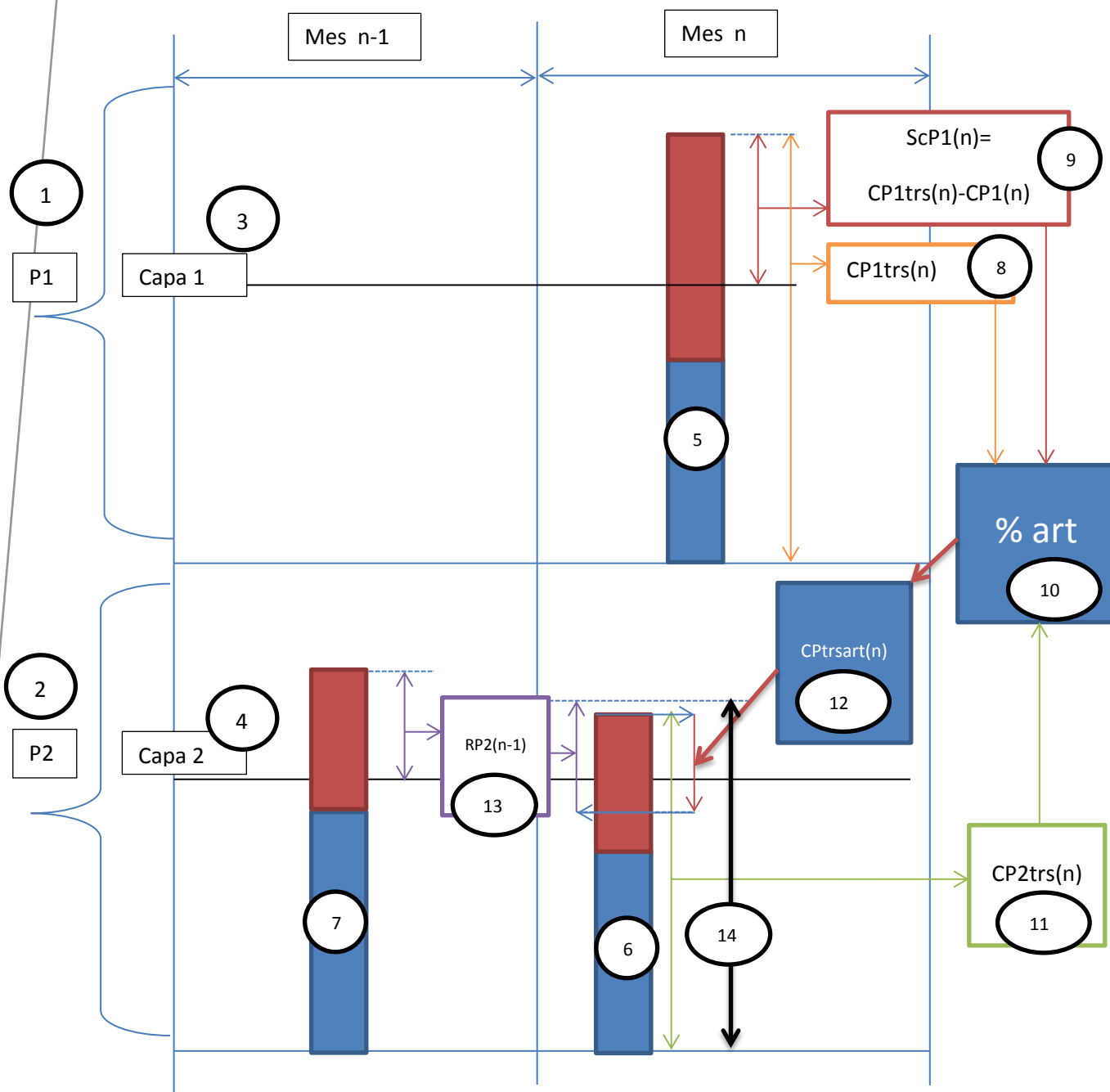


Figura 28 : figura explicativa del cálculo de la sobre carga a un mes  $n$ .  
Fuente: elaboración propia

### 3.8 LAS 5S

Las 5S son una estrategia sistemática para llevar a cabo una práctica disciplinada de un buen mantenimiento y una óptima organización del lugar de trabajo dentro un área.

Las 5'S son :

- seiri : organización
- seiton : orden
- seiso : limpieza
- seiketsu : estandarización
- shitsuke : disciplina

Vemos la orden de aplicación sobre la figura 29 :



*Figura 29 : las 5S*  
*Fuente : elaboración propia*

Lo que se pretende con la aplicación de un enfoque 5S es la reducción de los despilfarros de recursos y la mejora de la motivación y de la moral de trabajo de los empleados.

#### 1) Seiri

El objetivo es preparar las zonas de trabajo para que sean más seguras y conseguir una mayor productividad. En efecto, el desorden dificulta la observación del funcionamiento de los equipos, impide una visión clara del entorno de trabajo y las entradas y salidas de materiales quedan obstaculizadas con frecuencia. Además, esta primera S permite preparar las áreas de trabajo para



diseñar acciones de mantenimiento autónomo, control visual de calidad, programación ordenada de la producción, etc.

Las actividades a realizar en esta primera fase son separar las cosas que sirven de las que no, clasificarlas por frecuencia de uso, eliminar lo que no sirve identificar los elementos problemáticos o peligrosos y eliminar la información innecesaria.

## **2) Seiton**

El objetivo es mejorar el orden y organización del puesto de trabajo para acceder a los artículos necesarios y devolverlos a su lugar fácilmente, simplificando así todo el proceso. Es aplicable a todo tipo de elementos: máquinas, moldes, utensilios, herramientas, calibres, documentos, etc.

Las actividades a realizar en esta segunda fase son identificar los espacios y las cosas, identificar visualmente los elementos, asignar códigos estandarizados a todos los elementos, simplificar el entorno de trabajo y detectar las situaciones anómalas, que deben saltar a la vista.

## **3) Seiso**

El objetivo es realizar una limpieza sistemática para mantener todos los elementos en perfectas condiciones para su uso cuando sea necesario. No consiste sólo en eliminar la suciedad, la limpieza como inspección genera conocimiento sobre los equipos y el entorno de trabajo. Debe ser realizada por los operarios del proceso. La limpieza como tarea de inspección, detecta materiales que pueden faltar, identifica las causas de acumulación de suciedad, identifica fallos en los equipos o productos, evidencia materiales que están fuera de sitio o no son necesarios, busca medidas preventivas, etc. La limpieza ha de integrarse en el trabajo diario y en los hábitos y procedimientos,

Las actividades a realizar en esta tercera fase son dividir el puesto de trabajo por zonas, incluyendo todos los equipos, instalaciones, herramientas. Se debe también asignar responsabilidades y establecer puntos de control de limpieza para los puestos de trabajo.

## **4) Seiketsu**

El objetivo es mantener los equipos en perfecto estado de uso, definiendo estándares que recuerden la necesidad del orden y la limpieza, alcanzados en las etapas anteriores. Se persigue transmitir eficazmente el apoyo de la dirección y definir normas que identifiquen rápidamente, mediante un fácil control visual, un funcionamiento no adecuado.

Las actividades a realizar en esta cuarta fase son definir y estandarizar las normas de mantenimiento del puesto de trabajo, definir un programa de limpieza que incluya todas las actividades, responsables y fechas. Se debe también compartir actividades comunes de limpieza para asegurarse de que el trabajo se realiza por todos de la misma manera. Es necesario preparar una lista de verificación que se colocará en un lugar visible. Si es posible, se deben utilizar métodos visuales, como fotos y establecer un calendario de auditorías.

El concepto de fábrica visual refleja la transmisión del desarrollo progresivo de la mejora continua de la empresa a todos sus integrantes, además de servir como medio de comunicación hacia las prácticas deseadas. Con este nuevo modelo de organización, se consigue que todos los detalles sean evidentes, de manera que cualquier error se haga perfectamente visible y se puedan detectar los problemas en su fase inicial. Se obtiene información del proceso en tiempo real y permite la realimentación on-line del sistema. Un buen indicativo de la fábrica visual es que transmite al instante su estado y progresión a un hipotético visitante que, de otra manera, tendría que buscar en la documentación de oficina para conseguir la misma información.

### 5) Shitsuke

Su objetivo es crear y mantener hábitos y rutinas de eficiencia, seguridad y prevención. Además, suponen el reconocimiento del trabajo de los operarios por parte de la dirección.

Las actividades que deben realizarse son involucrar a los trabajadores en el diseño de los documentos, informes y puntos de control y establecer metas a conseguir y comprometerse a alcanzarlas. Se debe también respetar y cumplir las normas y estándares establecidos y comprobar diariamente la situación.

En mi proyecto, he utilizado esta herramienta los apartados 5.1.2 y 5.2.5. Es decir durante la fase de mejora de los dos islotes “NH-SH” y “rectificación”.



# CAPITULO 4 :

## FASE PREPARATORIA DEL PROYECTO



## CAPITULO 4. FASE “PREPARATORIA” DEL PROYECTO.

En este capítulo, voy a explicitar las tres primeras etapas de la metodología DMAIC que he empleado para este proyecto fin de carrera. Por eso, en el apartado 4.1 voy a definir el proyecto, después, en el apartado 4.2 voy a explicitar la etapa de medida sobre los dos islotes considerados como objeto de estudio y finalmente en el apartado 4.3 voy a analizar las medidas efectuadas en el apartado precedente.

### 4.1 DEFINICION DEL PROYECTO

En esta parte, voy a definir el proyecto mediante una carta del proyecto que va a mostrar todo lo que le concierne. Después, voy a identificar el proceso de producción sobre el primer islote considerado como objeto de estudio (rectificación), con una descripción y con un diagrama SIPOC (visto en el apartado 3.2). A continuación, identificaré el proceso de producción del islote NH-SH (segundo islote considerado como objeto de estudio) con una descripción de su propio funcionamiento y de su funcionamiento con el islote de ajuste del taller. En este caso, haré también un diagrama SIPOC.

#### 4.1.1 CARTA DEL PROYECTO

La carta de proyecto permite identificar y reunir todos los datos de partida del proyecto en un mismo documento. La carta contiene la problemática y el perímetro del proyecto (véase el apartado perímetro en la figura 30 y las dos líneas que preceden este apartado). Lo que permite limitar de manera clara la amplitud del proyecto y observar una descripción más clara que la dada en el capítulo 2, de las máquinas que componen cada islote. Esta carta también recoge los objetivos y la organización del equipo de proyecto (véase la figura 30). En relación a este último aspecto, se detalla el piloto estratégico, el piloto operacional, el patrocinador (el que lanza el proyecto y que acepta dar el presupuesto), y los otros miembros del equipo. Por último, la carta explicita los riesgos, los constreñimientos y los factores de éxito del proyecto. (Véase la figura 30)

## Carta proyecto



### Optimización de dos islotes del taller de producción de piezas de alta precisión

Optimización del islote rectificación

Optimización del islote "NH-SH"

#### Perímetro

- 1 rectificadora plana
- 2 rectificadora cilíndrica (externa y interna)
- 1 maquina a rodar
- 1 área a desafectar

- 1 centro de mecanizado 4 ejes : "SH" (3 mesas, capacidad para 120 herramientas, 18.5 kW)
- 1 centro de mecanizado 4 ejes: "NH"(2 mesas, capacidad para 40 herramientas, 18.5kW)
- 1 puesto de desbarbado manual

#### Objetivos

- hacer que el islote sea operacional para la fabricación de piezas con una tolerancia de menos de 1 micrómetro
- optimizar la superficie para otros medios de producción.

- aumentar el rendimiento
- optimizar el ratio obrero/máquina
- 

#### Organización

Piloto estratégico del proyecto	Laurent J. ( jefe de la unidad de producción de mini y micro mecánica)
Piloto operacional	Cyrille Lopez Gonzalo
Patrocinador	Patrick R. ( director de la línea de producción mecánica (200 pers))
Miembros del equipo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- los 3 obreros del islote NH-SH</li> <li>- los 2 obreros del islote de rectificación</li> <li>- 2 supervisores de producción</li> <li>- 1 controlador de gestión</li> <li>- 1 gestor de los flujos</li> <li>- los equipos de mantenimiento</li> </ul>

#### Riesgos

- tiempos para inversión
- desvinculación de los miembros del equipo
- fuerte alteración de la cadencia de producción
- Un circuito de firma muy largo y complejo

#### Factores de éxito

Ayuda del piloto estratégico del proyecto y buena cooperación de los obreros.

Figura 30 : carta del proyecto

Fuente : elaboración propia

#### 4.1.2 IDENTIFICACIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL ISLOTE “RECTIFICACIÓN”

Según lo que he indicado en la figura 30, el islote rectificación contiene 5 máquinas que realizan tareas diferentes. El flujo de las piezas dentro de este islote depende de la orden de fabricación. Las máquinas con las que el obrero va a trabajar van a depender de las fases de producción especificadas en la orden de fabricación. No necesariamente todas las piezas tienen que pasar por todas las máquinas, puede que una pieza necesite pasar sólo por 2 o 3 máquinas de este islote.

El islote funciona en dos turnos y hay un obrero en cada turno.

Para describir el proceso de producción, vamos a realizar un análisis SIPOC (suppliers, Input, process, output, customer). (Véase en la figura siguiente)

En las columnas suppliers e input de la figura 31, se listan los proveedores del proceso y las entradas que proporciona cada uno de ellos. Por ejemplo, el departamento logístico proporciona los planes de fabricación y las fichas de instrucciones de fabricación y de control mientras que el gerente de las órdenes de fabricación proporciona las órdenes y que los supervisores proporcionan las planificación de esas órdenes. En las columnas outputs y customers de la figura 31, se listan los clientes del proceso y las salidas del proceso que son proporcionadas a cada uno de ellos. Por ejemplo, durante el proceso, hacemos un documento de control de las piezas y éste está asignado al controlador de calidad. Además, obtenemos un dato de salida del proceso: el tiempo de realización de la orden de fabricación, este es destinado a los supervisores.



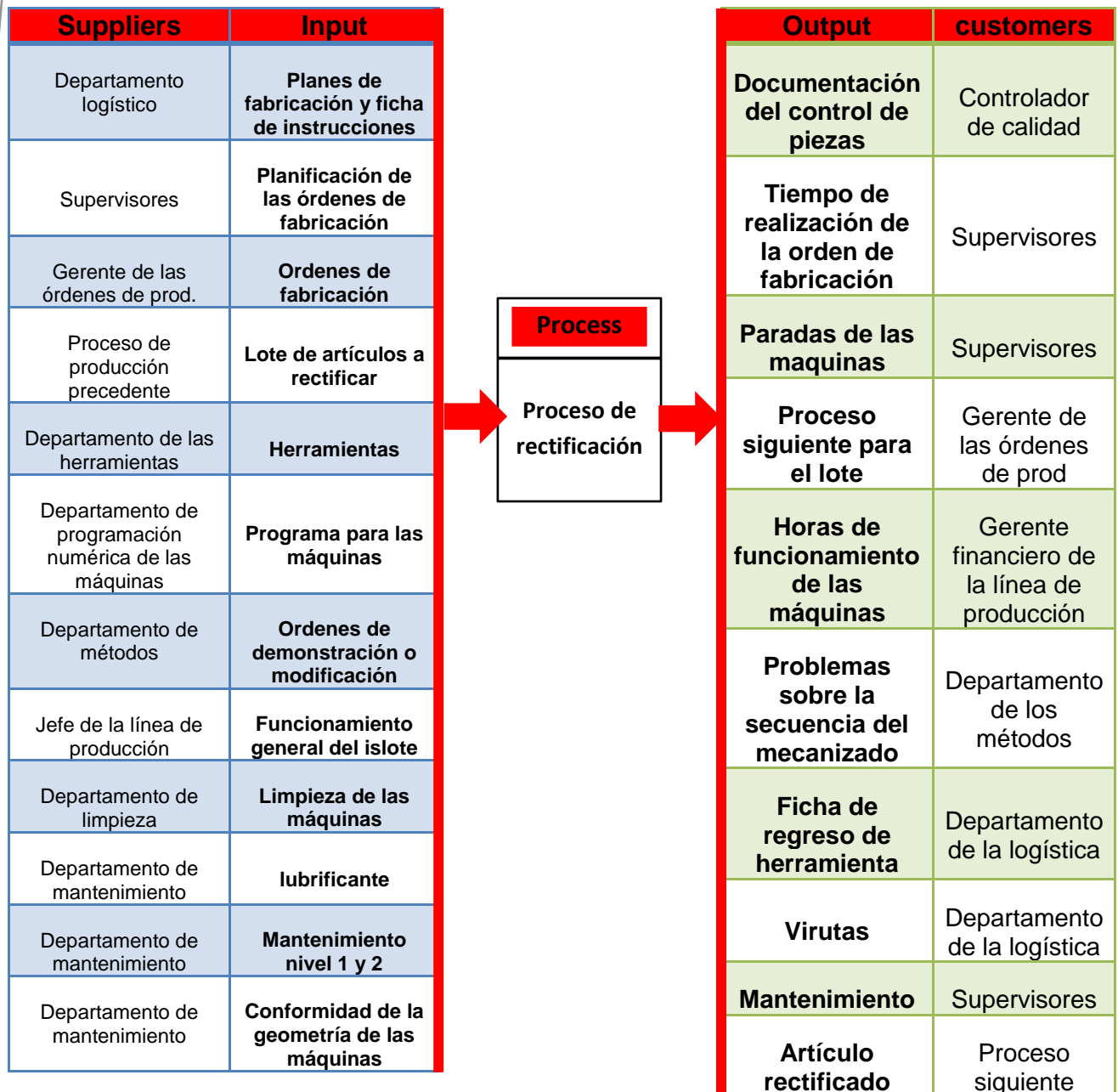


figura 31 : diagrama SIPOC del proceso de producción sobre el islote de rectificación  
fuente :elaboración propia

A continuación, vamos a detallar el proceso (que aparece en la figura 32). El obrero del islote va a obtener la orden de fabricación que viene del proceso precedente. Además, el obrero debe obtener en el mismo tiempo las herramientas para trabajar, los medios de control de conformidad de las piezas y los medios de embalaje. Después, el operario va a configurar la máquina para finalmente realizar la operación de mecanizado. Una vez que la pieza está rectificada el obrero tiene que controlar la conformidad de la pieza. Cuando todas las operaciones indicadas en la orden de fabricación han sido realizadas sobre la orden de fabricación, la pieza va al proceso siguiente (que está especificado en la secuencia de operaciones). Finalmente, Los medios de control de conformidad y las herramientas regresan a los departamentos correspondientes.

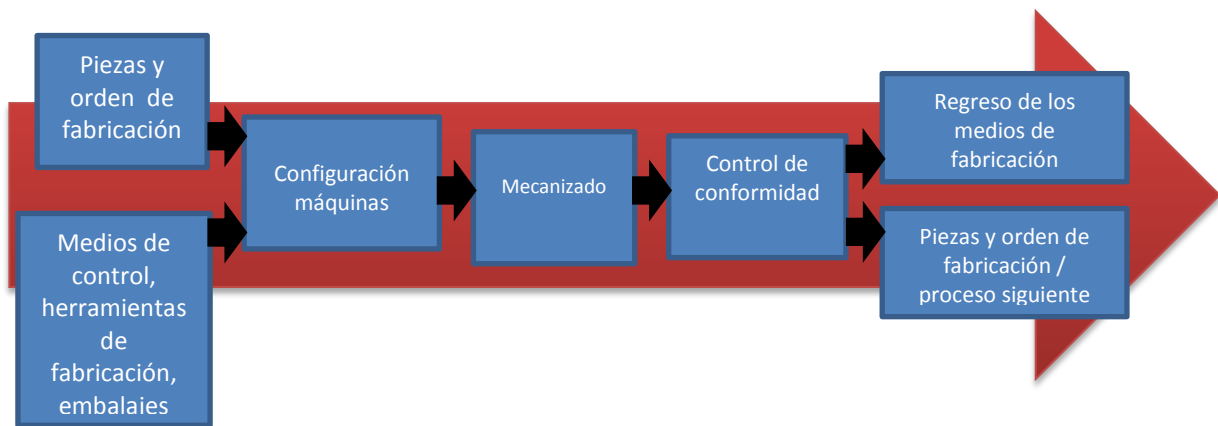


Figura 32 : proceso de rectificación

Fuente : elaboración propia

Durante mi proyecto, hacer el análisis SIPOC me permitió identificar el proceso desde los proveedores internos hasta los clientes internos. Es decir, familiarizarme con gran parte de la cadena de valor y conocer más el equipo de proyecto.

#### 4.1.3 IDENTIFICACION DEL PROCESO DE PRODUCCION DEL ISLOTE "NH-SH"

El islote (NH-SH) se compone de dos centros de mecanizado. El centro SH403 (que vamos a llamar "SH") funciona durante 2 turnos de 8 horas al día y el centro NH4000 (que vamos a llamar NH) funciona durante 3 turnos de 8 horas al día. Durante los dos turnos de día, hay un obrero que atiende los dos centros y durante la noche hay un obrero que sólo atiende el centro NH.

El ratio obrero/máquina querido por el industrial durante el día es de 0.77 obreros por una máquina. Se trata de un cociente entre las horas de trabajo del obrero y las horas de funcionamiento de las máquinas. Por ejemplo supongamos que el Día D, el obrero trabajó durante 8 Horas sobre el islote NH-SH. Supongamos que el obrero ha declarado que durante su turno que el centro NH ha funcionado durante 5 horas y el SH durante 4 horas. Así el ratio obrero/máquina de este turno es de  $8/9 = 0.88$ . Este índice muestra la capacidad del hombre a trabajar sobre diferentes centros en el mismo tiempo.

Desde el punto de vista del controlador de gestión de la línea, el SH funciona en tiempo enmascarado del NH. Una operación realizada en tiempo enmascarado es una operación que es realizada en paralelo a otra y en un tiempo inferior o igual a ésta. Es decir, que damos prioridad a la producción en el NH (normalmente) y el SH debe funcionar sólo cuando el NH funciona (si no hay problema sobre este).

Las operaciones de configuración de las máquinas son realizadas (en teoría) en tiempo "enmascarado" de la otra. Es decir que cuando el NH está funcionando, el SH es configurando y viceversa.

En paralelo al islote NH-SH, hay un islote de ajuste mecánico fino. Las tareas de los obreros de este puesto de trabajo son ajustar mejor las piezas mecánicas. Es decir, mejorar de manera fina, con herramientas que se manipulan manualmente, la redondez, la plenitud, los pasos de roscas y otros aspectos de las piezas mecánicas.

Los obreros que realizan solo tareas de ajuste no intervienen en otros puestos de trabajo.

El islote de ajuste ajusta las piezas de todo el taller y no sólo de las piezas del NH-SH.

Hay en el taller 4 puestos de ajuste con 4 obreros. El islote de ajuste tiene un único plan de producción, es decir no hay un plan de producción para cada puesto de ajuste del islote. Si debemos realizar X horas de carga en ajuste, nos da igual que se realicen con dos o tres puestos de ajustes.

Vamos a ver un ejemplo de un plan de producción para los puestos siguientes: NH, SH y ajuste. (Véase la tabla 2). Podemos ver los puestos de trabajo, los artículos cuya la secuencia requiere una fase en estos puestos de trabajo, el programa de los artículos, y las cargas en número de horas.

Por ejemplo vemos que En abril, debemos realizar una carga de 15 horas sobre el NH de las cuales 10 horas representan el tiempo necesario para la realización del artículo A y 5 horas son para la realización del artículo B. vemos que este artículo A esta planificado también en el ajuste por el mes de junio y que representa 11 horas de trabajo. Sin embargo el artículo B no tiene fase de ajuste en su secuencia.

Puesto de trabajo	Programa (missile)	Artículo	Carga de trabajo Abril	Carga de trabajo Mayo	Carga de trabajo junio	Carga de trabajo julio	Carga de trabajo agosto
NH	X	A	10				
	X	B	5	5			
	Y	C				8	
SH	X	A		6	7	8	
	Y	D	9	15			11
Ajuste	X	E		7	8	9	10
	Z	A			11		
	Z	D	12				13

Tabla 2 : ejemplo plan de producción

Fuente : elaboración propia

Para continuar con la descripción del proceso de producción del islote NH-SH, vamos a realizar un diagrama SIPOC, de la misma manera que para la identificación del proceso de rectificación. (Véase la figura 33). En las columnas suppliers e input de la figura 33, se listan los proveedores y las entradas proporcionadas para cada uno de ellos. Por ejemplo el departamento de mantenimiento suministra el lubricante de las máquinas para el mecanizado mientras que el departamento de programación numérica proporciona el programa de mecanizado para las máquinas. En las columnas de output y de customers de la figura siguiente, se listan las salidas del proceso que son proporcionadas a los clientes de dicho proceso. Por ejemplo, los datos sobre las paradas de las máquinas son

proporcionadas a los supervisores. Los datos sobre los problemas de la secuencia de mecanizado son destinados por el departamento de métodos. ( véase la figura 33).

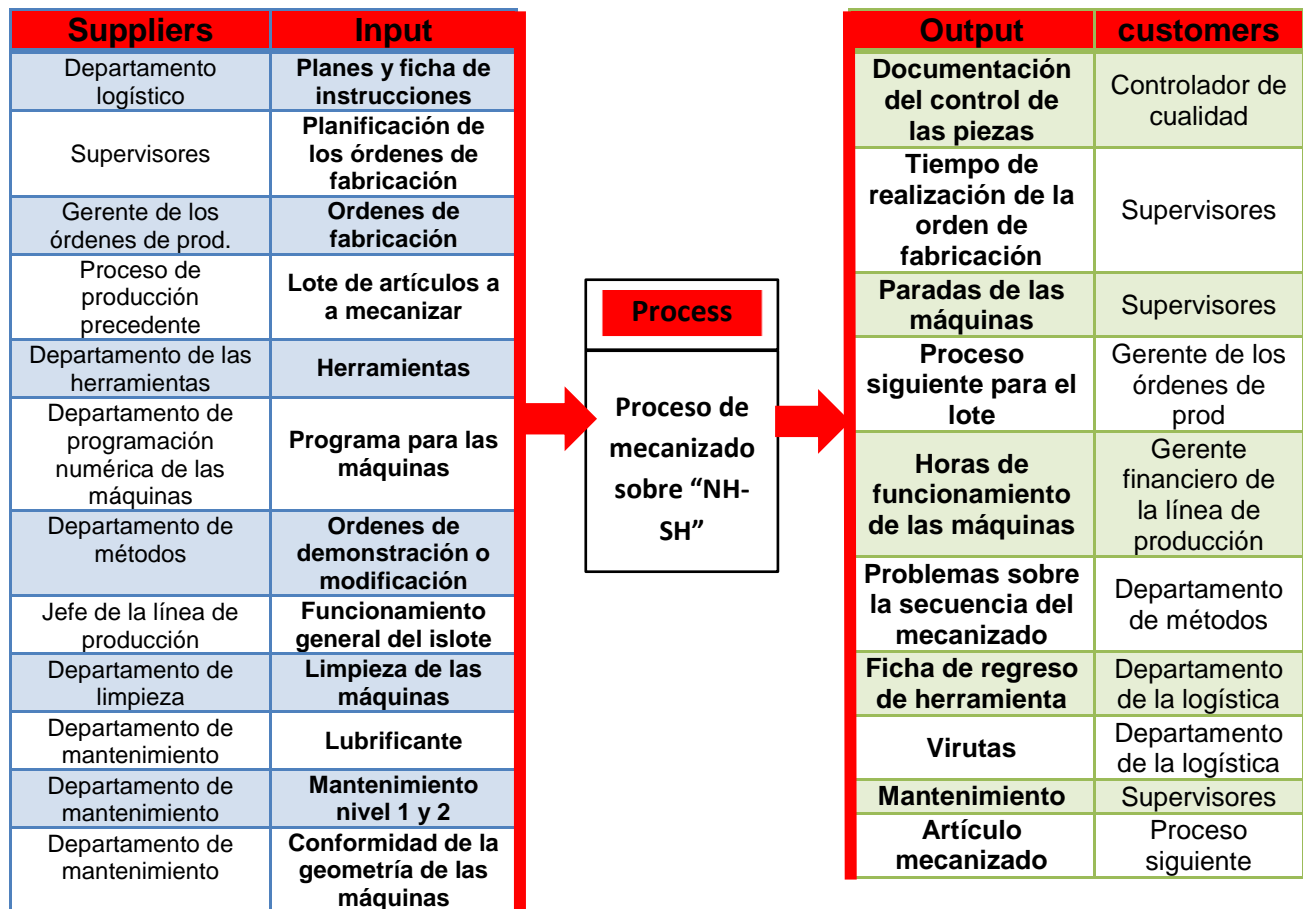


Figura 33 : diagrama SIPOC del proceso de producción sobre NH-SH

Fuente : elaboración propia

Para describir el proceso (véase en la figura 34), vamos a considerar que el artículo viene de otro proceso del taller o de la planta. Cuando el artículo se entrega en el islote, los obreros reciben (en teoría) en ese mismo tiempo los medios de fabricación. La máquina que el obrero debe utilizar (NH o SH) esta especificada en la orden de fabricación. Así, el operario sabe qué máquina configurar. Normalmente está configurando la máquina mientras que la otra está fabricando otra orden de fabricación. Una vez que la máquina está configurada el obrero lanza el ciclo de mecanizado. Una vez que el ciclo está acabado, el operario desbarba la pieza, la controla y la almacena en un stock "en fase de producción". Para las piezas que están mecanizadas sobre este islote hay dos tipos de flujos que he observado. En el primero, las piezas van directamente al ajuste y en el segundo, las piezas van a otro islote de mecanizado y después van al ajuste. El proceso en el islote de ajuste es similar para todas las piezas, independientemente de cual fuera su origen. Los obreros reciben la orden de fabricación con los medios de fabricación, después ajustan las piezas y finalmente, almacenan la orden antes de partir hacia otro proceso.

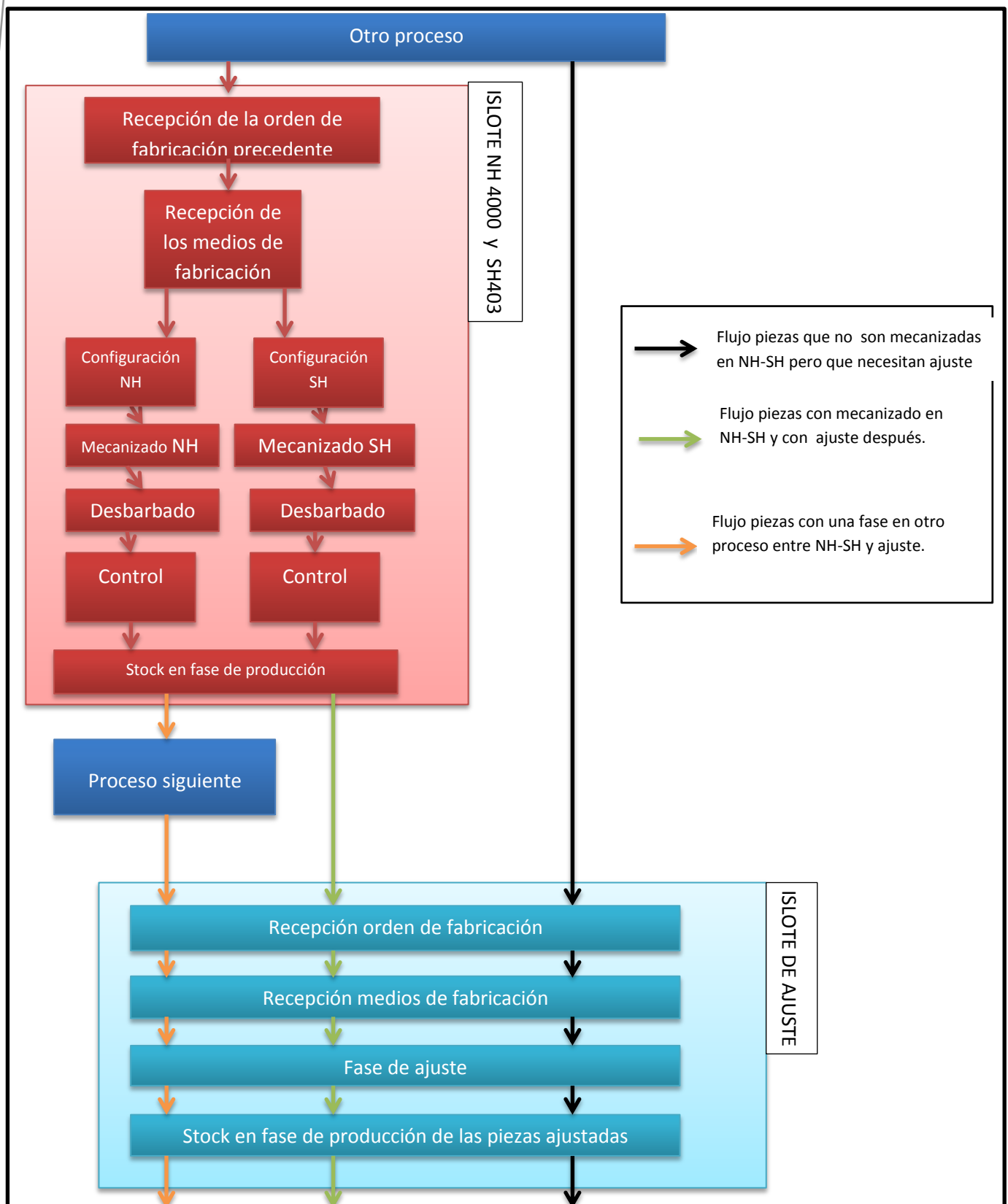


figura 34 : proceso de producción sobre el islote NH-SH  
fuente : elaboración propia

## 4.2 MEDIDAS

Esta etapa es la segunda de la metodología DMAIC. En ella, Vamos a recoger diferentes datos para evaluar la eficiencia del proceso. Esta etapa es imprescindible para determinar las oportunidades de mejora identificadas en mi proyecto. En un primer subapartado (4.2.1) vamos a recoger las medidas del islote de “rectificación” y en el segundo subapartado (4.4.2) vamos a medir el proceso de producción del islote “NH-SH”.

### 4.2.1 MEDIDAS EN EL ISLOTE « RECTIFICACION ».

Para recoger las medidas del islote “rectificación”, voy a realizar un análisis de las 5”M”, después voy a realizar un diagrama de flujos del operario y de las piezas y finalmente voy a hacer un cursograma analítico.

#### 4.2.1.1 ANALISIS DE LAS 5”M”

El análisis de las 5”M” trata de una auditoria que yo realicé en el “rectificación” con los obreros y con mis observaciones personales. La auditoría trata de los 5 temas siguientes: la mano de obra, los medios y máquinas, el medio ambiente, los métodos, las materiales.

Los resultados de la auditoría están en la tabla siguiente (tabla3). En la primera columna, aparecen los 5 aspectos a evaluar (mano de obra, medios de producción y máquinas, etc...). En la segunda columna, se muestran los criterios utilizados para evaluar cada aspecto. Los criterios fueron elegidos con ayuda del responsable de las acciones “lean” de la planta. El estado refleja cómo está el islote actualmente. La columna nota recoge una valoración de los criterios anteriores. Esta nota puede variar entre 1 y 5 (1, es el peor resultado posible y 5, el resultado mejor). La columna objetivo describe, para aquellos criterios puntuados con menos un 5, cuál es la situación que queremos alcanzar al fin del proyecto. Estos objetivos han sido fijados por el jefe del taller, el jefe de la línea y la persona responsable de las acciones “lean” en la planta.

La siguiente tabla muestra buenos resultados para los criterios evaluados en relación a la mano de obra. Sin embargo, se identifican problemas con ciertos criterios relativos a medios de producción y maquinas, medio ambiente, métodos y materiales. Existen problemas con:

- las herramientas de fabricación. Actualmente, sólo el 50% de las herramientas disponibles están adaptadas y en buenas condiciones. El objetivo a conseguir al final del proyecto es alcanzar un porcentaje de herramientas adaptadas y en buenas condiciones igual a 100%.
- Los medios de control calidad tienen el mismo problema, sólo la mitad están adaptados y en buenas condiciones. El objetivo es de 100%
- El equipamiento de seguridad tiene que ser controlado por las auditorias de seguridad que van a desarrollarse durante el mes de Marzo. El objetivo es que todo el equipamiento esté disponible y en buenas condiciones.



- El desorden sobre el islote y la ergonomía es deficiente. El objetivo es de tener un puesto de trabajo ergonómico y optimizado con flujos identificados.
- Las fichas de riesgos de los puestos de trabajo. Debemos actualizar las fichas y tener una para cada máquina del islote antes de la auditoria de seguridad.
- La limpieza del islote. En efecto, los residuos están clasificados pero se necesita que los puestos de trabajo estén limpios.
- La gestión de la documentación. Actualmente, tenemos en el islote mucha documentación obsoleta (como antigua instrucciones de trabajo), así debemos tener una buena gestión de la documentación en el islote.
- Las instrucciones de fabricación y de control están explicadas. Sin embargo, no son seguidas todo el tiempo. Vamos a intentar de favorecer al máximo el seguimiento de esas instrucciones.
- La utilización de las herramientas. No existe guía para la utilización de las herramientas, todo se hace con la experiencia de los obreros. El objetivo es implementar un guía que se pueda consultar en el islote.
- Los planes de definición de las piezas. Normalmente, los planes con la definición de las piezas están en un fichero que circula con la orden de fabricación. Sin embargo, en la mayoría del tiempo, no están disponibles esos planes. Así, los obreros conservan antiguos planes que pueden ser obsoletos. El objetivo del proyecto es tener los planes disponibles todo el tiempo y actualizados.
- Los indicadores de eficiencia. Sobre este islote los indicadores no son pertinentes y muchos están obsoletos. Vamos a implementar indicadores pertinentes y actualizados.
- Los stocks en el puesto de trabajo. En efecto, en el islote, no hay un área destinada para el stock de los materiales en curso de producción. Así el objetivo es tener medios de almacenamiento disponibles y que sean utilizados por los obreros.
- La visibilidad de los flujos en el islote. Actualmente, los flujos de aprovisionamiento y de salida no son claros, el objetivo con este proyecto es que esos flujos sean documentados e identificados.

M	Criterios	Estado actual	Nota	objetivo
<b>Mano de obra</b>	Conocimiento de los clientes internos y de sus necesidades	Necesidades tenidas en cuenta	5	
	Cualificaciones necesarias	Documentos con la cualificación necesaria	5	
	Competencias de los obreros	Obreros competentes y versátiles. Pueden transmitir sus competencias a los nuevos obreros del taller	5	
	Conocimiento de la organización del taller	Relación entre el proveedor y el cliente gracias a planes de mejora ( PDCA)	5	
<b>Medios de producción y maquinas</b>	Medios de manutención	Medios disponibles y adaptados al puesto de trabajo	5	
	Aplicación del programa de mantenimiento	Operaciones de mantenimiento (nivel 1 y 2) planificadas, realizadas y registradas	5	
	Herramientas de fabricación	Herramientas adaptadas y en buenas condiciones (50%).	1	100% adaptadas y en buenas condiciones
	Medios de control calidad	50% adaptados y en buenas condiciones. Algunos que comprar	1	100% adaptadas y en buenas condiciones
	Conocimiento de los procedimientos para controlar riesgos	Procedimientos conocidos pero sin documentación	3	Documentar procedimientos

M	Criterios	Estado actual	Nota	objetivo
<b>Medios de producción y maquinas</b>	Programación numérica de las máquinas	Es el departamento de la programación el que trata este aspecto	5	
	Equipo de seguridad	A controlar (todo) para las auditorias OHSAS18001 y ISO14001	1	Disponibilidad y con buenas condiciones
<b>Medio ambiente</b>	Organización del islote	Desorden, ergonomía deficiente, mala implantación	1	Tener un puesto con ergonómico y optimizado con flujos identificados
	Seguridad del puesto	Falta ficha de riesgos de los puestos de trabajo	1	Fichas de seguridad en todos los puestos
	Limpieza	Casi limpio y clasificación de los residuos	3	Puestos limpios
<b>Métodos</b>	Planificación de las tareas en el puesto de trabajo	Gestión de las órdenes de fabricación	5	
	Gestión de la documentación	Presencia de documentación obsoleta	1	Buena gestión
	Instrucciones de fabricación y de control	No se seguidas todo el tiempo	1	Instrucciones seguidas todo el tiempo
	Guía para la utilización de las herramientas	No existe guía, casi todo se hace con la experiencia	1	Guía que se pueda consultar
	Registro (orden de fabricación y ficha de control calidad)	Registro sistemático	5	
	Planes con la definición de las piezas	Normalmente los planes están en el fichero que contiene la orden de fabricación pero no es caso todo el tiempo. Así los obreros utilizan antiguos planes.	1	Planes de las piezas disponibles y actualizados
	Indicadores de eficiencia	No hay indicadores pertinentes y muchos están obsoletos	1	Indicadores pertinentes y actualizados
	Conocimiento de la documentación de calidad	El progreso de las acciones está en seguimiento	5	
<b>Materiales</b>	Stock en el puesto de trabajo	No hay área destinada para el stock	1	Medios de almacenamiento disponibles y que sean utilizados
	Flujos de aprovisionamiento y de salida	No hay flujos claros	1	Flujos documentados y identificados
	Preservación calidad	Preservación de los productos definida y aplicada	5	
	Lubrificante	Seguimiento ok	5	
	Trazabilidad	Gestión con lotes y registros	5	
	Gestión de los productos no conformes	Artículos no conforme aislados de la producción con participación de los obreros en la mejora de los defectos	5	

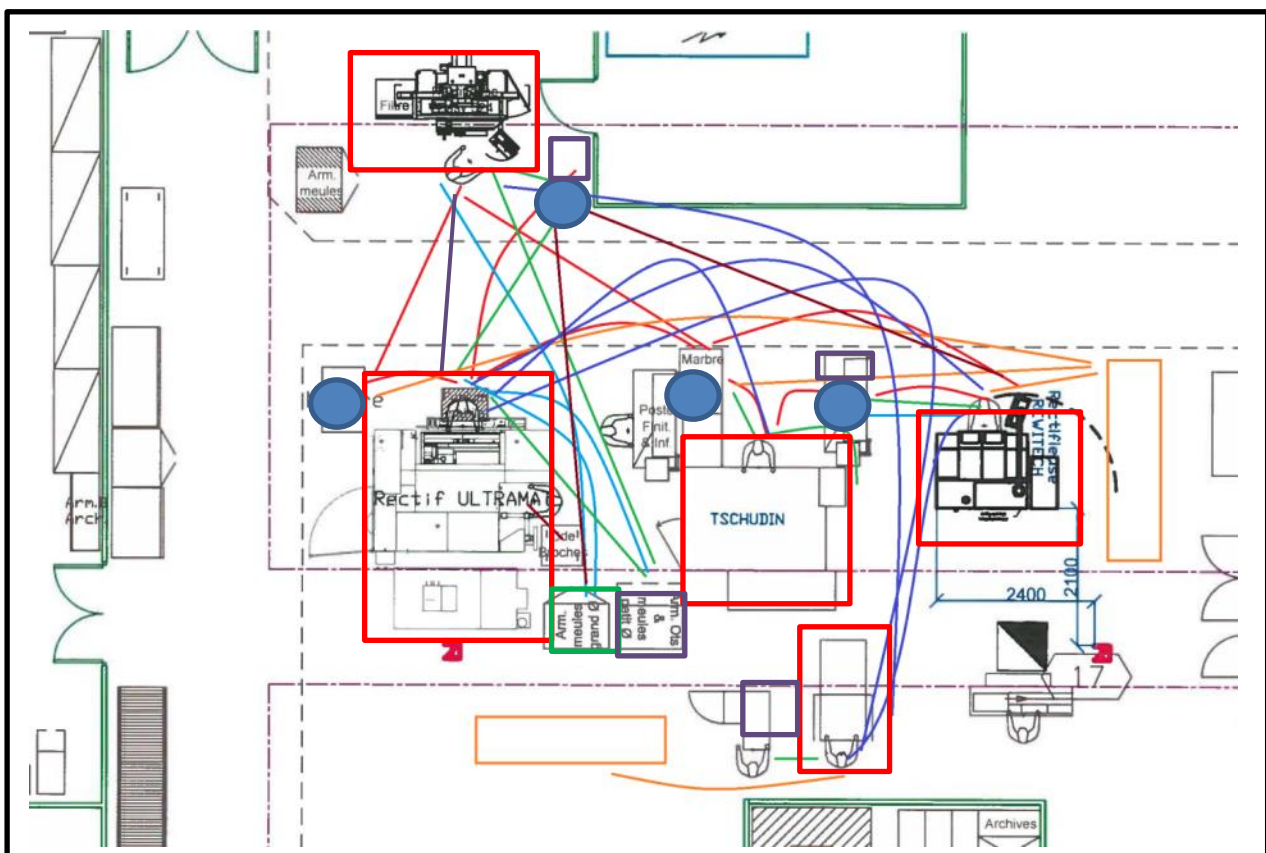
Tabla 3 : resultados análisis 5M

Fuente : elaboración propia

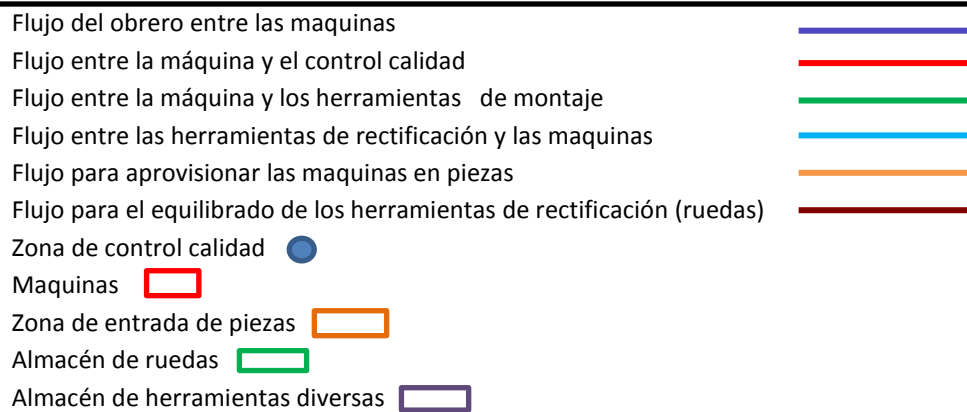
Con el sistema de calificación de uno a cinco, podemos calcular el ratio de satisfacción del islote. Sumamos todas las puntuaciones recogidas en la columna nota y lo dividimos entre el número total de criterios multiplicado por 5. Obtenemos un ratio de 59%. Está claro que este ratio nos indica que existen muchas cosas a mejorar. Para conseguir mejorar este ratio, debemos resolver los problemas que hemos analizado antes en la tabla. En el apartado 4.3.1, voy a analizar las causas que originan estos problemas para luego, corregirlas.

#### 4.2.1.2 DIAGRAMA DE FLUJOS DE LOS OPERARIOS Y DE LAS PIEZAS

Vamos a evaluar la distancia recogida por el operario y por las piezas que son mecanizadas en el islote. Primero vamos a evaluar los flujos efectuados por los operarios. Vamos a suponer que el operario trabaja con diferentes órdenes de fabricación y que necesita trabajar con varias máquinas del islote. Es decir que el operario hace recorridos de ida y vuelta entre diferentes máquinas. Para visualizar el trayecto del operario, vamos a realizar un diagrama de hilos (véase la figura siguiente) entre todas las máquinas.



*Esta figura es en dos partes, la otra parte ( leyenda ) está en la página siguiente*



*figura 35 : diagrama de hilos del islote rectificación*  
*fuentes : elaboración propia*

la figura 35 muestra una vista en planta del islote. Las máquinas aparecen enmarcadas en rojo, las zonas de entrada de piezas en naranja, las zonas de control calidad con un círculo azul, los almacenes de ruedas en verde y los almacenes de herramientas diversas en violeta. En distintos colores, se muestran los recorridos realizados por el trabajador. Por ejemplo, en azul oscuro se muestra su movimiento entre las máquinas, mientras que en rojo se muestra el movimiento entre las máquinas y la zona de calidad. Estos recorridos se han obtenido a partir de observación directa. Podemos observar un primer problema: todos los flujos se cruzan.

El análisis de este diagrama se hará en el apartado 4.3.1.

A continuación, para cuantificar el flujo de los operarios vamos a construir un modelo que refleje la distancia recogida por el operario en función del número de piezas que componen una orden de fabricación.

Tomamos como denominación:

$n$  : número de piezas de la orden de fabricación

$i$  : puesto de trabajo

Tomamos como hipótesis las siguientes:

Cuando el obrero está realizando una orden de fabricación, estimamos que hace  $n$  recorridos de ida y vuelta entre la máquina  $i$  y otra máquina (es decir que trabaja sobre otra máquina durante el tiempo de ciclo de  $i$ ).

Por ejemplo, el operario pone la máquina  $i$  en funcionamiento; durante su tiempo de ciclo, va a trabajar sobre una máquina  $k$ ; y cuando el primer ciclo de la máquina  $i$  está acabado, el operario va de nuevo a la máquina  $i$  para poner en funcionamiento otro ciclo. Y después va a trabajar sobre máquina  $M$  etc...

Por esto, en adelante, vamos a utilizar la media de la distancia entre la máquina  $i$  y todas las máquinas restantes del islote.

Para la distancia recorrida para almacenar el equipamiento utilizado en la fase precedente, consideramos que éste será almacenado cuando el operario va a tomar el nuevo material para la nueva orden de fabricación.

Tomamos como denominaciones para las distancias las siguientes:

**$d_o$** : distancia recorrida para tomar y dejar las herramientas de mantenimiento (flujos representados en verde en la figura 35)

**$d_m$** : distancia para el montaje de las ruedas (herramientas de la rectificación) (flujos representados en azul claro en la figura 35)

**$d_e$** : distancia para el equilibrado de las ruedas (flujos representados en marrón en la figura 35)

**$d_{AP}$** : distancia para aprovisionar la máquina con las piezas (flujos representados en naranja en la figura 35)

**$d_{AM}$**  distancia para poner la piezas sobre la máquina

**$d_c$** : distancia para controlar la conformidad de las piezas (flujos representados en rojo en la figura 35)

**$Med_i$** : Se trata de la distancia media que recorre un obrero para ir de la máquina  $i$  a otra máquina del islote. (Flujos representados en azul oscuro en la figura 35).

Deducimos la distancia recogida por el obrero para la realización de la orden de fabricación con  $n$  piezas sobre la máquina  $i$ :

**$d_o$ ,  $d_m$ ,  $d_e$  y  $d_{AP}$**  son distancias recogidas sólo 2 veces por orden de fabricación.

Las otras:  **$d_{AM}$ ,  $d_c$  y  $Med_i$** , son recogidas  $2 \cdot n$  veces por cada orden de fabricación de  $n$  piezas.

Así obtenemos la fórmula siguiente siendo  $D_i$ :

$$D_i = [(d_o + d_m + d_e + d_{AP}) + n \cdot (d_{AM} + d_c) + n \cdot Med_i] \cdot 2$$

A continuación, vamos a medir esas distancias para cada una de las 5 máquinas del islote.

Vamos a suponer que la máquina Rewitech y la máquina Tschudin están en la misma área puesto que esas dos máquinas realizan las mismas operaciones de rectificación. La máquina Rewitech es una nueva máquina y está destinada a sustituir la máquina Tschudin que es vieja. La sustitución se hará efectiva cuando la máquina Rewitech sea configurada para realizar todas las piezas que realiza la máquina Tschudin.

La tabla siguiente muestra las distancias que he medido directamente sobre el islote entre las diferentes máquinas:

Denominación de las máquinas				
	ULTRAMAT	Rectificación plana	Rewitech/Tschudin	Rodage
Control calidad ( $d_c$ )	5	7	6.5	1
Herramientas ( $d_o$ )	12	8	12	2
Ruedas ( $d_m$ )	5	8	2	14
Equilibrado ( $d_e$ )	2	7	8	0
Aprovisionamiento stock-puesto trabajo ( $d_{AP}$ )	12	12	3	4
Aprovisionamiento puesto trabajo-maquina ( $d_{AM}$ )	1	2	2	1
Trayecto entre máquinas ( $Med_i$ )	Ultra-rewi : 10 Ultra-plana : 3.5 Ultra-rodage : 13 <b><math>Med_i = 8.83</math></b> <b><math>Med_i</math> se ha calculado como la media de los valores indicados anteriormente</b>	Plane-ultra : 3.5 Plane-rod : 11 Plane-rewi : 9 <b><math>Med_i = 7.83</math></b>	Rewi-rodage = 7 Rewi-plane : 9 Rewi-ultra : 10 <b><math>Med_i = 8.6</math></b>	Rodage-plane = 11 Rod-rewi : 7 rod – ultra : 13 <b><math>Med_i = 10.3</math></b>

Tabla 4 : distancias recogidas por el obrero sobre el islote rectificación

Fuente: elaboración propia.

A continuación, sustituyendo en la fórmula teórica anterior para el cálculo de  $D_i$ , deducimos las formulas siguientes para cada máquina.

	ULTRAMAT	Rectificación plana	Rewitech/tschudin	rodage
Total para una orden de fabricación de n piezas	$(5*n+12+5+2+12+1*n + 8.83*n)*2=$ <b><math>29.66n+62</math></b>	$(7*n+8+8+7+12+2*n+7.83*n)*2=$ <b><math>33.66n+70</math></b>	$(6.5*n+12+2+8+3+2*n+8.6*n)*2=$ <b><math>34.2n+50</math></b>	$(1*n+2+14+4+1*n+10.3*n)*2=$ <b><math>24.6n+40</math></b>

Tabla 5: distancia recogida por el obrero en función de n sobre cada máquina del islote de la rectificación.

Fuente: elaboración propia

Si hacemos una media de todas las fórmulas indicadas en la tabla 5, obtenemos la distancia recogida media sobre todo el islote:  $D_{media} = 30.53*n + 55.5$



Para evaluar el tiempo que el obrero invierte en caminar por el islote, vamos a poner un ejemplo tomando el caso de una pieza que se fabrica en el islote. Consideramos un tiempo de ciclo frecuente para este tipo de pieza 4 minutos, y un tamaño de orden frecuente también, es decir, 100 piezas.

Sea una orden de fabricación de 100 piezas y un tiempo de ciclo de 4min, la orden de fabricación se completa en:  $4 \times 100 = 400$  min.

Vamos a tomar la distancia media calculada anteriormente para el islote:  $D_{\text{media}} = 30.53 \times n + 55.5$

Como  $n=100$ ,  $D_{\text{media}} = 30.53 \times 100 + 55.5 = 3108.5$  m,

Considerando que la velocidad del obrero en el puesto de trabajo es de 3km/h, nos da un tiempo de :  $3108.50 \times 60 / 3000 = 62.17$  minutos

Estos 62.17 minutos corresponden con el tiempo que el obrero camina por el islote. Es decir que durante  $62.17 / 400 = 15.5\%$  del tiempo de ciclo (es decir cuando una máquina funciona), el obrero está caminando. Se trata de 15.5% del tiempo que no aporta valor añadido al producto. Lo que representa sobre una orden con un tiempo de ciclo unitario de 4min el equivalente a  $62.17 / 4 = 15$  piezas procesadas.

Ahora vamos a observar el flujo recogido por una pieza que vamos a llamar “mayora”. Esta pieza se trata de una pieza mecanizada frecuentemente en este islote.

Tomamos la pieza “mayora” y observamos la distancia recogida por la pieza durante su secuencia sobre el islote. La tabla siguiente representa la secuencia de la pieza “mayora” y la figura representa el diagrama de hilos con las distancias recogidas por la pieza.

Secuencia	
1	Torno
2	REWITECH
3	Control Rewitech
4	ULTRAMAT
5	Control Ultramat
6	RODAGE
7	Control Rodage

Tabla 6 : secuencia de la pieza “mayora” en el islote de rectificación

Fuente : elaboración propia

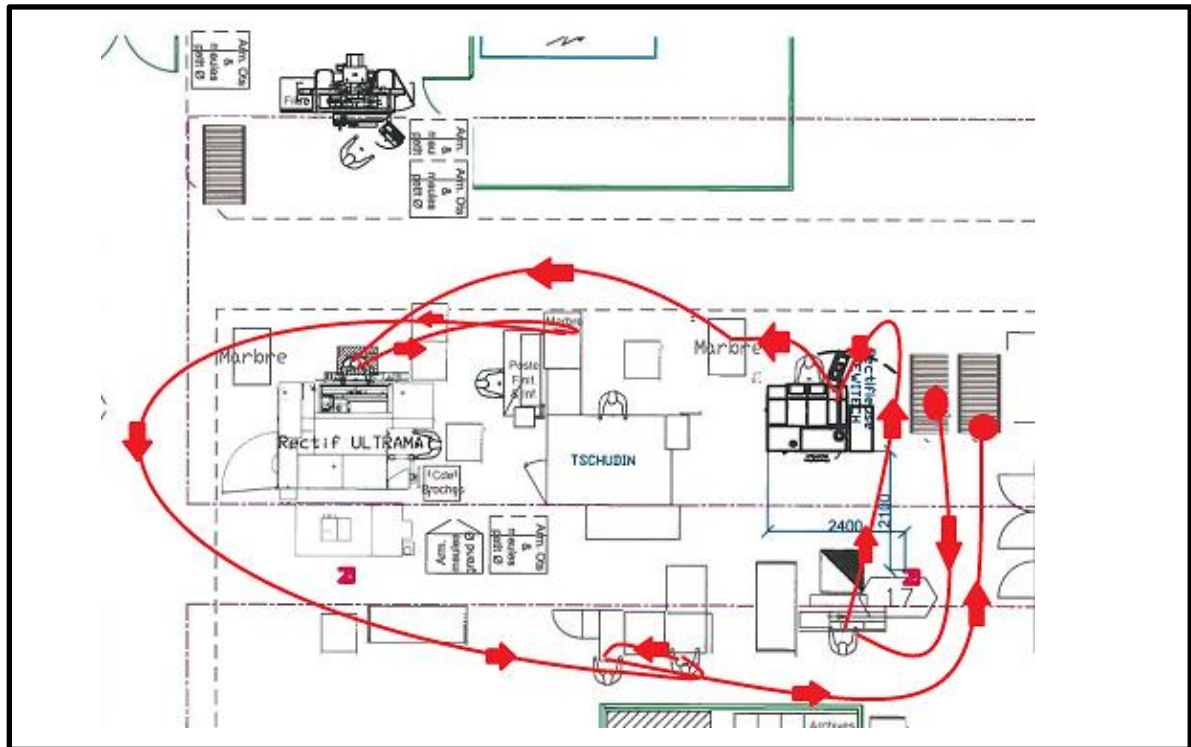


Figura 36 : flujo de la pieza P sobre el islote rectificación  
Fuente : elaboración propia.

Con un procedimiento similar al que he empleado para las distancias de los operarios, he tomado las distancias directamente sobre el islote y he medido una distancia de 61 m (por pieza). Podemos ver que la pieza da la vuelta completa al islote, no puede hacer una vuelta más larga. Todas las medidas efectuadas en este apartado serán analizadas en el apartado 4.3.1.

#### 4.2.1.3 ANALISIS DE DESARROLLO – CURSOGRAMA ANALITICO

Aquí vamos a analizar el desarrollo del proceso en un puesto de trabajo. Para facilitar el análisis vamos a realizar un cursograma analítico como hemos visto en el marco teórico de este documento. Mi objetivo con este estudio es conocer el tiempo con valor añadido que se invierte en un puesto de trabajo del islote.

Lo que voy a observar son las tareas efectuadas en tiempo enmascarado es decir, durante el tiempo de ciclo de una máquina. Vamos a observar las tareas efectuadas por el operario desde que pone en funcionamiento un ciclo en la máquina hasta que pone el ciclo siguiente. Lo que quiero analizar son las tareas que llevan valor añadido o no sobre otro producto que es el mecanizando dentro de la nueva máquina que va a atender el operario durante el tiempo enmascarado. Esto permite ver si el tiempo está optimizado durante los tiempos de ciclo.

Observamos las medidas de tiempo sobre la figura siguiente. La primera columna muestra la descripción de las tareas. Las siguientes 5 columnas muestran el tipo de tarea de que se trata (operación, transporte...), mientras que la última columna muestra la duración de la tarea en minutos.

Tareas	Operación	transporte	Preparació	Espera	stock	Tiempo
	●	▶	■	◐	▼	
Principio del ciclo de la maquina i	x					0.1 min
Buscar medios de control de la piezas precedente				x		0.5 min
Control de la pieza	x					1.3 min
Embalaje de la pieza			x			0.2min
Caminar hasta otro puesto de trabajo		x				0.4min
Hacer tareas sobre el otro puesto	x					1.5 min
Parrar la maquina i				x		0.1 min
tomar herramientas para desmontaje de pieza				x		0.2 min
Desmontaje de la pieza				x		0.3min
Poner la pieza frente del control		x				0.2min
Tomar herramientas para montaje de la nueva pieza				x		0.2min
Tomar la nueva pieza		x				0.2min
Montaje de la nueva pieza				x		0.3min
Principio de un nuevo ciclo	x					0.1min
TOTAL tiempo						5.6 min

Figura 37: cursograma analítico sobre el islote de rectificación

Fuente: elaboración propia

El principio del ciclo de la máquina corresponde al tiempo que el operario necesita para lanzar un ciclo. Después, el obrero debe buscar los medios de control para controlar la pieza mecanizada con anterioridad. A continuación el obrero embala la dicha pieza. Después, el obrero camina hasta otro puesto de trabajo para hacer tareas sobre éste y regresa a la primera máquina i para pararla puesto que el ciclo ha acabado (el tiempo de regreso a la primera máquina está incluido en el tiempo destinado a caminar de la primera máquina a otra). A continuación, el obrero toma las herramientas para desmontar la nueva pieza mecanizada y la pone cerca del control. Después, toma herramientas para montar una nueva pieza a mecanizar y lanza un nuevo ciclo.

De las tareas de la figura 37, sólo son de valor añadido: el principio del ciclo de la maquina i, el control de la pieza, las tareas sobre otro puesto de trabajo (supongamos que son de valor añadido porque se trata de tiempo optimizado), y el principio del nuevo ciclo. Lo que suponen 3 minutos del

tiempo total (5.6 minutos) y lo que representa  $3/5.6=53\%$  del total. Es decir que casi la mitad del tiempo de trabajo no tiene valor añadido para el producto.

Para completar esta tabla 37, he observado directamente a los operarios en el islote y he recogido los tiempos con un cronómetro. Los tiempos obtenidos son una media de 10 observaciones diferentes y las tareas son las principales observadas.

Para este primer islote, no recojo los índices de rendimiento vistos en el marco teórico y el índice obrero/máquina ya que como la he dicho en la etapa de definición del proyecto, los objetivos sobre este islote son optimizar la superficie para otros medios de producción, y hacer que el islote sea operacional para la fabricación de piezas con una tolerancia de menos de 1 micrómetro, lo que quiere decir tener un puesto limpio, ordenado y digno de un taller aeronáutico. Esos objetivos fueron fijados con el jefe del taller, piloto estratégico del proyecto, y el jefe de la línea de producción mecánica, patrocinador del proyecto. Si fijaron “sólo” esos objetivos porque el rendimiento de este islote se considera suficiente para dichos jefes.

Según se ha comentado en los apartados precedentes, las medidas efectuadas sobre este islote de rectificación serán analizadas en el apartado 4.3.1. Ahora vamos a hacer un trabajo similar sobre el otro islote considerado como objeto de estudio.

---

#### 4.2.2 MEDIDA EN EL ISLOTE “NH-SH”

Como en el apartado precedente, para esta segunda etapa de la metodología DMAIC, vamos a recoger diferentes datos. En un primer lugar, vamos a analizar las 5M. Después vamos a recoger los flujos de obreros y de piezas. A continuación, vamos a realizar un cursograma analítico y finalmente, vamos a recoger los índices de rendimiento visto en el marco teórico de este documento.

---

##### 4.2.2.1 ANALISIS DE LAS 5”M”

En un primer lugar, vamos a realizar un análisis de las 5 M similar al realizado en el islote de rectificación. Para eso he hecho una auditoria con los obreros del islote NH-SH y he sintetizado los resultados en la tabla 6.

Al igual que en el caso anterior, la tabla muestra buenos resultados para los criterios evaluados en relación a la mano de obra. Sin embargo, se identifican problemas con ciertos criterios relativos a medio de producción y máquinas, medio ambiente, métodos, y materiales. Existen problemas con:

- Los medios de manutención. En efecto, actualmente sólo el 50% de esos medios están disponibles y adaptados al puesto de trabajo mientras que queremos que el 100% de esos medios estén disponibles y adaptados.
- Los medios de control calidad. Sólo el 30%, en lugar del 100%, están adaptados y en buenas condiciones.
- El conocimiento para controlar los riesgos. En efecto, esos procedimientos son conocidos pero no existe documentación. El objetivo será redactar una.
- El equipamiento de seguridad que debe ser controlado y debe estar disponible y en buenas condiciones.
- La organización del islote que no es ergonómica no optimizada.
- La seguridad del puesto de trabajo porque faltan fichas de riesgos. Así deberemos implementarlas.
- La limpieza. Como sobre el otro islote, los residuos están clasificados pero se debe limpiar los puestos de trabajo.
- la gestión de la documentación porque hay documentos obsoletos sobre el islote.
- Las instrucciones de fabricación y de control porque no son seguidas todo el tiempo y nuestro objetivo es que lo sean.
- la utilización de las herramientas porque no existe guía de utilización y todo se hace con la experiencia. Se necesita un guía que se pueda consultar.
- Los planes con la definición de las piezas. Como sobre el islote "rectificación" los planes no siguen el fichero de la orden de fabricación. Así cuando éste lleva al puesto de trabajo, no contiene el plan con la definición de la pieza a mecanizar.
- Los indicadores de eficiencia. Los que están en el puesto de trabajo no son pertinentes o son obsoletos.
- los stocks en el puesto de trabajo. En efecto no hay área destinada al stock y nuestro objetivo es tener medios de almacenamiento disponibles y utilizados.
- Flujos de aprovisionamiento y de salida. Los flujos no son claros y queremos flujos documentados y identificados.

M	Criterio	Estado	nota	objetivo
<b>Mano de obra</b>	Conocimiento de los clientes internos y de sus necesidades	Necesidades tenidas en cuenta	5	
	Cualificaciones necesarias	Documentos con la cualificación necesaria	5	
	Competencias de los obreros	Obreros competentes y versátiles. Pueden transmitir sus competencias a los nuevos obreros del taller	5	
	Conocimiento de la organización del taller	Relación entre el proveedor y el cliente gracias a planes de mejora ( PDCA)	5	

M	Criterio	Estado	nota	objetivo
<b>Medios de producción y máquinas</b>	Medios de manutención	50 % medios disponibles y adaptados al puesto de trabajo	3	100% medios disponibles y adaptados
	Aplicación del programa de mantenimiento	Operaciones de mantenimiento ( nivel 1 y 2) planificadas, realizadas y registradas	5	
	Herramientas de fabricación	Herramientas adaptadas y en buenas condiciones	5	
	Medios de control calidad	30% adaptados y en buenas condiciones. Algunos a comprar	1	100% adaptados y en buena condiciones
	Conocimiento de los procedimientos para controlar riesgos	Procedimientos conocidos pero sin documentación	3	Redactar una documentación
	Programación numérica de las maquinas	el departamento de la programación trata este tema	5	
	Equipamiento de seguridad	A controlar (todo) para la auditorías OHSAS18001 y ISO14001	1	Disponibilidad y en buenas condiciones
<b>Medio Ambiente</b>	Organización del islote	Puede ser mejor	3	Tener un puesto ergonómico y optimizado con flujos identificados
	Seguridad del puesto	Falta de ficha de riesgos de los puestos de trabajo	1	Fichas de seguridad para todos los puestos
	Limpieza	Casi limpio y clasificación de los residuos	3	Puestos limpios
<b>métodos</b>	Planificación de las tareas del puesto de trabajo	Gestión de las ordenes de fabricación	5	
	Gestión documentaria	Presencia de documentación obsoleta	1	Buena gestión
	Instrucciones de fabricación y de control	No todo el tiempo	1	Instrucciones seguidas todo el tiempo
	Guía para la utilización de las herramientas	No existe guía, casi todo se hace con la experiencia	1	Guía que se pueda consultar
	Registro (orden de fabricación y ficha de control calidad)	Registro sistemático	5	
	Planes con definición de las piezas	Mucho tiempo no hay los planes con la orden de fabricación , son los obreros que consérvenlos	1	Planes de las piezas disponibles y actualizados
	Indicadores de eficiencia	No hay indicadores pertinentes y muchos están obsoletos	1	Indicadores pertinentes y actualizados

M	Criterio	Estado	nota	objetivo
materia	Stock en el puesto de trabajo	No hay área destinada al stock	1	Medios de almacenamiento disponibles y utilizados
	Flujos de aprovisionamiento y de salida	No hay flujos claro	1	Flujos documentados y identificados
	Preservación calidad	Preservación de los productos definida y aplicada	5	
	Lubrificante	Seguimiento ok	5	
	Trazabilidad	Gestión con lotes y registros	5	
	Gestión de los productos no conformes	Artículos no conforme aislados de la producción con participación de los obreros en la mejora de los defectos.	5	

*Tabla 7 : análisis de las 5M sobre el islote NH-SH*

*Fuente : elaboración propia*

Podemos observar que ambos islotes tienen problemas en los mismos puntos: la gestión de la documentación, la ergonomía, los flujos, los indicadores, las herramientas de control... Se trata de un mal generalizado en distintos islotes de la línea de producción.

Con el sistema de calificación de uno a cinco, podemos calcular el ratio de satisfacción del islote. Sumamos todas las puntuaciones recogidas en la columna nota y lo dividimos entre el número total de criterios multiplicado por 5. Para este islote, obtenemos un ratio de 63%. Este ratio es superior que el del islote anterior. Sin embargo, queda claro que este ratio nos indica que existen muchas cosas a mejorar para aumentarlo. Para conseguir mejorar este ratio, debemos resolver los problemas que hemos analizados antes de la tabla.

Las causas de este ratio se analizan con más detalle en el apartado 4.3.2 de este documento.

#### 4.2.2.2 FLUJO PIEZAS Y OBREROS

De la misma manera que para el islote de la rectificación, vamos a realizar una medida de los flujos de piezas y de los obreros. Por eso, vamos a observar la distancia recogida por una pieza que debe ser mecanizada en el NH y otra que debe ser mecanizada en el centro SH. He observado las secuencias de operaciones en cada centro y las he recogido en la tabla siguiente:



Puesto de trabajo	NH4000	SH4000
Tarea 1	Almacén en curso	Almacén en curso
Tarea 2	Mecanizado NH	Mecanizado SH
Tarea 3	Desbarbado	Desbarbado
Tarea 4	control	control
Tarea 5	Almacén en curso	Almacén en curso
Tarea 6	Puesto de ajuste	Puesto de ajuste

Tabla 8 : secuencias sobre NH-SH

Fuente : elaboración propia

La secuencia comienza cogiendo piezas de los almacenes en curso marcados como “apro” en la figura 38, hay un almacén para cada centro de mecanizado. Después la pieza es mecanizada sobre el centro en cuestión, desbarbada en un puesto común para los dos centros y controlada en un banco también común para los dos centros. A continuación la pieza es almacenada cerca de los puestos de ajuste y después cuando la orden de fabricación lo indica, es ajustada.

La figura siguiente muestra el trayecto de las piezas. Sobre la figura 38, podemos ver el centro NH a la derecha y el centro SH a la izquierda. Arriba de la figura están los diferentes puestos de ajuste con su stock en curso. Se puede ver el puesto de desbarbado manual, que es común a los dos centros y la zona de control calidad en el centro de la figura. Las flechas rojas hacen referencia a la secuencia de SH y las azules a la secuencia NH.

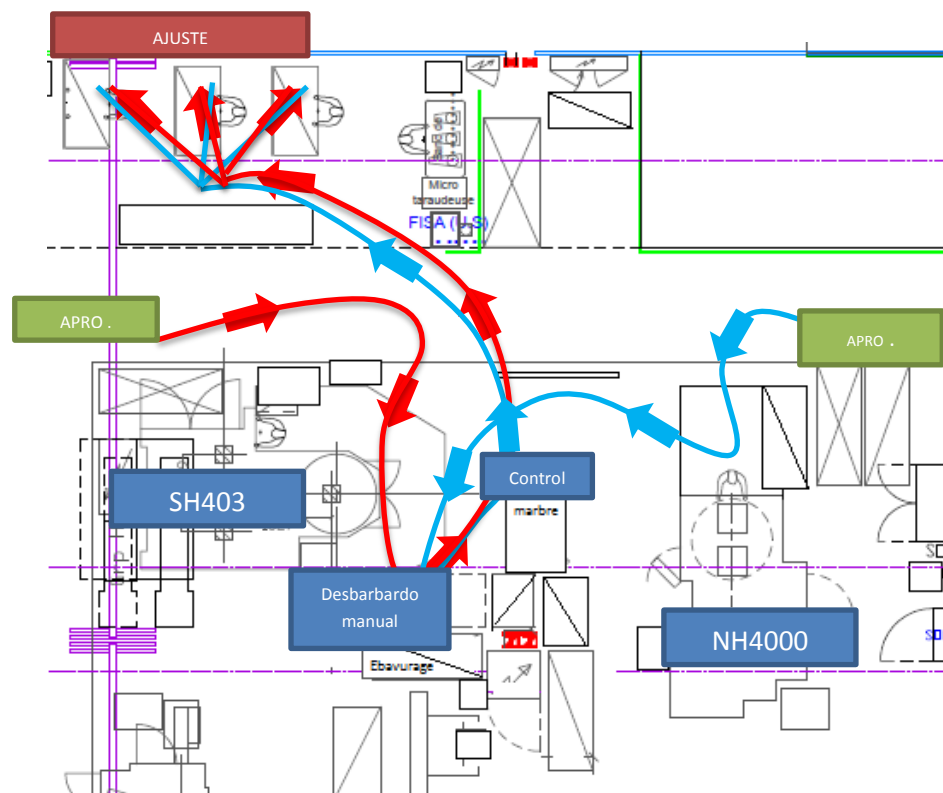


Figura 38 : trayecto de las piezas sobre el islote NH-SH

Fuente : elaboración propia

De manera similar que en el islote precedente, he medido directamente en el islote las distancias recogidas de acuerdo con las secuencias indicadas en la tabla 8. Es decir, he medido la distancia recorrida por una pieza entre el stock en curso de NH o SH hasta el puesto de ajuste. Tenemos los resultados siguientes:

- Distancia para una pieza del NH4000 : 21m
- Distancia para una pieza del SH403 : 16m

Hace una media de 18.5m lo que es muy inferior al resultado del islote precedente (61m).

En este caso, no necesitamos tantos cálculos como en el apartado de la rectificación porque en este islote las piezas son mecanizadas en una sola máquina y se van del islote. No como en el islote de rectificación donde las piezas de una misma orden de fabricación pueden ser mecanizadas en diferentes máquinas.

Los obreros recorren las mismas distancias que las piezas, además de los trayectos para tomar las herramientas de mantenimiento o de control calidad. Podemos ver en la figura siguiente, los flujos en azul que representan los trayectos del obrero para tomar las herramientas necesarias para el montaje y desmontaje de las piezas. Las herramientas no están localizadas cerca de las máquinas en un mismo mueble, los operarios deben realizar recorridos de ida y vuelta para cogerla y dejarlas en el centro del islote. Los flujos en rojo representan los trayectos del operario para tomar las herramientas del control calidad que están en dos armarios diferentes.

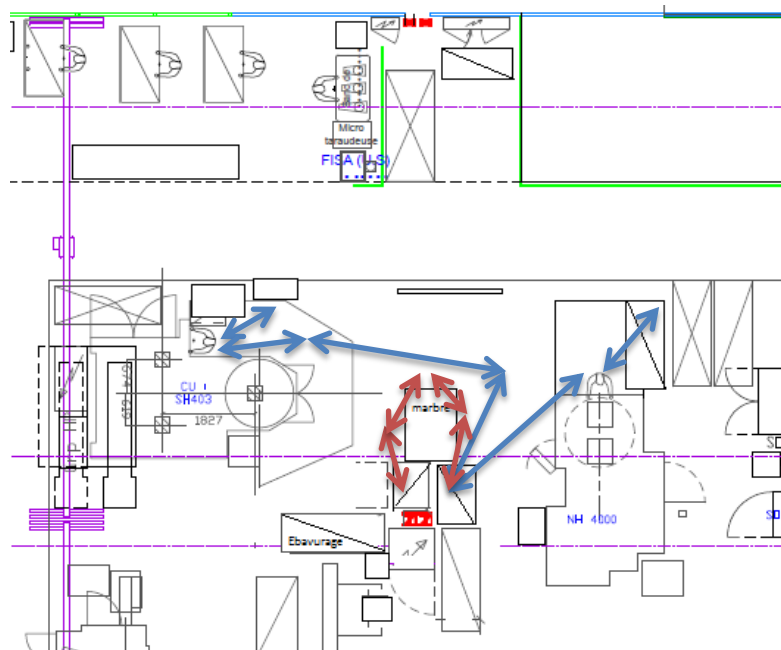


Figura 39 : trayecto de los operarios sobre el islote NH-SH para tomar herramientas

Fuente : elaboración propia

#### 4.2.2.3 ANALISIS DE DESARROLLO-CURSOGRAMA ANALITICO

Vamos a realizar, como sobre el islote rectificación, un análisis de desarrollo para ver el tiempo con valor añadido. Sin embargo, aquí vamos a realizar el análisis hasta la fase de ajuste para ver el tiempo que pasan en stock las piezas en curso de producción. El análisis se ha realizado con una orden de fabricación de 30 artículos con un tiempo de ciclo de 0.6 horas en los centros de mecanizado y de 2 horas en ajuste. Todas esas medidas se han realizados directamente sobre el islote con los operarios y con un cronómetro. A diferencia del caso precedente, los tiempos son expresados en horas. La tabla siguiente, que presenta los resultados, es casi del mismo formato que el cursograma hecho para el islote precedente. Es decir que la primera columna muestra las tareas, las 5 siguientes muestran el tipo de tarea y las dos últimas están dedicadas a los tiempos medidos. Una para los tiempos con valor añadido (VA) y la otra para los tiempos sin valor añadido (SVA). Así, en verde vemos los tiempos con valor añadido y en rojo el total de los tiempos sin valor añadido.

	Operaciones	Transporte	preparación	espera	stock	Tiempos (horas)	
Tareas ( para la totalidad de la orden de fabricación)	●	▶	■	D	▼	VA	SVA
Transporte del proceso precedente hasta islote NH-SH		x					0,1
Poner en área de stock en curso de producción					x		0,05
Recepción de los medios de producción				x			1
Transporte piezas hasta puesto de trabajo		x					0,05
Montaje pieza				x			0,1*30=3
Configuración para la orden de fabricación				x			4,5
Poner en funcionamiento la maquina				x			0,1*30=3
Mecanizado-tiempo de ciclo (por el lote entero)	x					0.6*30=18	
Parada ciclo				x			0,1*30=3
Transporte hasta puesto de desbarbado		x					1,5
Desbarbado	x					0,3*30=9	
Transporte desbarbado-control		x					1,5
Control			x				0,3*30=9
Transporte control- stock en curso de producción		x					0,05
Total proceso NH-SH						27	26,75
Transporte stock NH-SH hasta stock ajuste		x					0,1
Espera en el stock					x		144
Transporte stock ajuste- puesto de trabajo ajuste		x					1,5
Ajuste de las piezas	x					2*30=60	
Transporte puesto – área salida de las piezas		x					1,5
Transporte hasta proceso siguiente		x					0,1
						60	147.2
Total proceso NH-SH y ajuste						87	173.95

Figura 40 : cursograma analítico sobre el islote NH-SH

Fuente : elaboración propia

En la tabla anterior, tenemos dos tipos de tareas: las tareas que se hacen sobre el lote de piezas y las tareas que se hacen sobre cada pieza. Las tareas siguientes son las que se hacen sobre cada pieza individual (es por eso que está multiplicando el factor 30 delante cada una de ellas):

- el montaje de pieza
- el lanzamiento del ciclo de la máquina
- el ciclo de la máquina
- la parada de la máquina después de un ciclo
- el desbarbado
- el control calidad
- el ajuste

Las otras son tareas que se hacen sobre el lote entero.

En este caso, las únicas tareas con valor añadido son las tareas de mecanizado, de desbarbado y de ajuste. Es decir las tareas que dan valor al producto. Al contrario del cursograma del otro islote, no he tomado la tarea de control como una tarea con valor añadido. Aunque es una tarea obligatoria, no se trata de una tarea que aporta valor al producto. Sin embargo, en el caso precedente yo observé como el tiempo estaba optimizado durante un ciclo de máquina. Así consideré que hacer una tarea obligatoria durante una tarea con valor añadido (como es el tiempo de ciclo de una máquina) podía ser considerado como una tarea con valor añadido frente a otras tareas como desplazamientos, esperas... que consideré despilfarros.

He separado el cursograma mostrado en la figura 40 en dos partes: las tareas que conciernen al islote NH-SH y las tareas que conciernen el ajuste (parte inferior). He separado esas partes para calcular dos ratios. En efecto, he calculado el ratio entre el tiempo con valor añadido de las tareas de NH-SH y el tiempo total de las tareas de NH-SH, y el ratio entre el tiempo con valor añadido de las tareas de ajuste y el tiempo total de las tareas de ajuste.

A partir de los datos de la tabla, podemos constatar que:

$26.75 / (27 + 26.75) = 49.7 \%$  de las tareas de NH-SH son sin valor añadido (sólo considerando las tareas de NH-SH).

$147.2 / (142.2 + 60) = 72.8 \%$  de las tareas del ajuste son sin valor añadido (sólo considerando las tareas de ajuste).

Además, he calculado el ratio total de ambos procesos:

$173.95 / (173.95 + 87) = 66\%$  del tiempo total (tareas de NH-SH y ajuste) es sin valor añadido.

Podemos observar que el ratio el más elevado es el ajuste, lo que es principalmente debido a un fuerte tiempo de espera en el almacén en curso antes el ajuste. De manera general podemos ver que los ratio son demasiado elevados. Además, El tercer ratio, es más elevado que en el islote de rectificación. Analizáramos estos porcentajes en el apartado dedicado al análisis de las medidas, es decir el apartado 4.3.2.

#### 4.2.2.4 INDICE OBRERO/MAQUINA

Como comenté en el apartado 4.1, los jefes de la línea de producción mecánica han decidido que los obreros tienen que trabajar con las dos máquinas NH y SH y alcanzando un índice de 0.77 obrero/máquina. Este índice teórico se calcula de la siguiente forma:

- Horas disponibles de los trabajadores: 1877 h (para el primer cuatrimestre)
- Horas previstas de funcionamiento de las máquinas: 2445 h

Lo que da un índice teórico de  $1877/2445 = 0.77$  a alcanzar

Sin embargo, lo que tenemos realmente es lo siguiente:

- Horas reales de los hombres: 1502 h (tiempo de apertura del islote NH-SH)
- Horas reales de funcionamiento: 2029h (funcionamiento de NH: 1297h, y de SH: 732h)

Lo que no da el índice real: **0.75 obrero / maquina**

A partir de esos datos extraídos de SAP para un periodo de 4 meses (enero a abril), podemos comprobar que el ratio real es casi el mismo que el teórico. Es decir que los obreros hacen funcionar las dos máquinas al mismo tiempo como lo queremos. Sin embargo, vamos a ver qué problemas surgen para que los obreros no hagan funcionar las máquinas durante el tiempo suficiente para alcanzar el 0.77 (lo que veremos en el apartado siguiente).

#### 4.2.2.5 INDICES DE RENDIMIENTO Y TIEMPOS DE PERDIDAS

Para este islote voy a utilizar los índices de rendimientos definidos en el apartado 3.6 del marco teórico de este documento.

Sin embargo, he encontrado un obstáculo a la hora de elaborar estos índices. En efecto, el ratio de piezas no conformes (ratio de calidad  $T_Q$ ) en un medio de producción fue muy difícil de obtener. El número de piezas de este tipo de una orden de fabricación está documentado sólo al fin de la secuencia de producción de la orden de fabricación. Es decir que no podemos saber cuál es el medio de producción que es el origen de la no conformidad de la pieza.

Es por eso que he implementado el proceso que se describe a continuación para establecer una aproximación del ratio  $T_Q$  de un medio de producción M.

Sea una orden de fabricación con **N** piezas realizadas y con **R** piezas no conformes al fin de la secuencia total de producción de la orden de fabricación. En este caso supongamos que es el artículo P el que se está produciendo.

El ratio de calidad total (para toda la secuencia) es el cociente entre el número de piezas buenas y el número de piezas del lote:  $T_{Q\text{ total}} = (N-R)/N$ . Pero no sabemos a causa de qué medio de producción tenemos la no calidad. En efecto, la secuencia de producción del artículo P tiene diferentes fases con diferentes procesos.

Con SAP, podemos conocer el tiempo total de la secuencia para la fabricación entera del artículo P (así como el tiempo de ciclo de cada proceso). Sea  $T$  este tiempo.

La secuencia de fabricación tiene dos tipos de procesos:

- los procesos que pueden producir productos con no calidad.
- los procesos que no pueden producir productos con no calidad.

Con SAP podemos también conocer los tiempos de ciclos por pieza de cada proceso:

Sea **A** la suma de los tiempos de ciclo de los procesos que pueden producir no calidad.

Sea **B** la suma de los tiempos de ciclo de los procesos que no pueden producir no calidad.

Sea **Q** el tiempo de ciclo del proceso del medio concernido (para el cual queremos obtener el  $T_Q$ ).

Sabemos que el medio de producción  $M$  es un medio con riesgo de producción de no calidad. La probabilidad  $P_2$  de que  $R$  piezas no conformes del lote sean no conforme a causa del medio  $M$  es el cociente entre el tiempo que las piezas han pasado por  $M$  entre el tiempo total que las piezas han pasado por los medios de producción con riesgos de no calidad. Así,  **$P_2 = Q/A$** .

Así, utilizo esa probabilidad para estimar el ratio de calidad del medio  $M$ :

$$T_Q = P_2 * T_{Q \text{ total}}$$

( si  $M$  es el único medio que tiene riesgo de producir no calidad,  $P_2=1$  y  $T_Q = T_{Q \text{ Total}}$ , lo que es normal ya que estamos seguros que la no calidad es producida por  $M$ ).

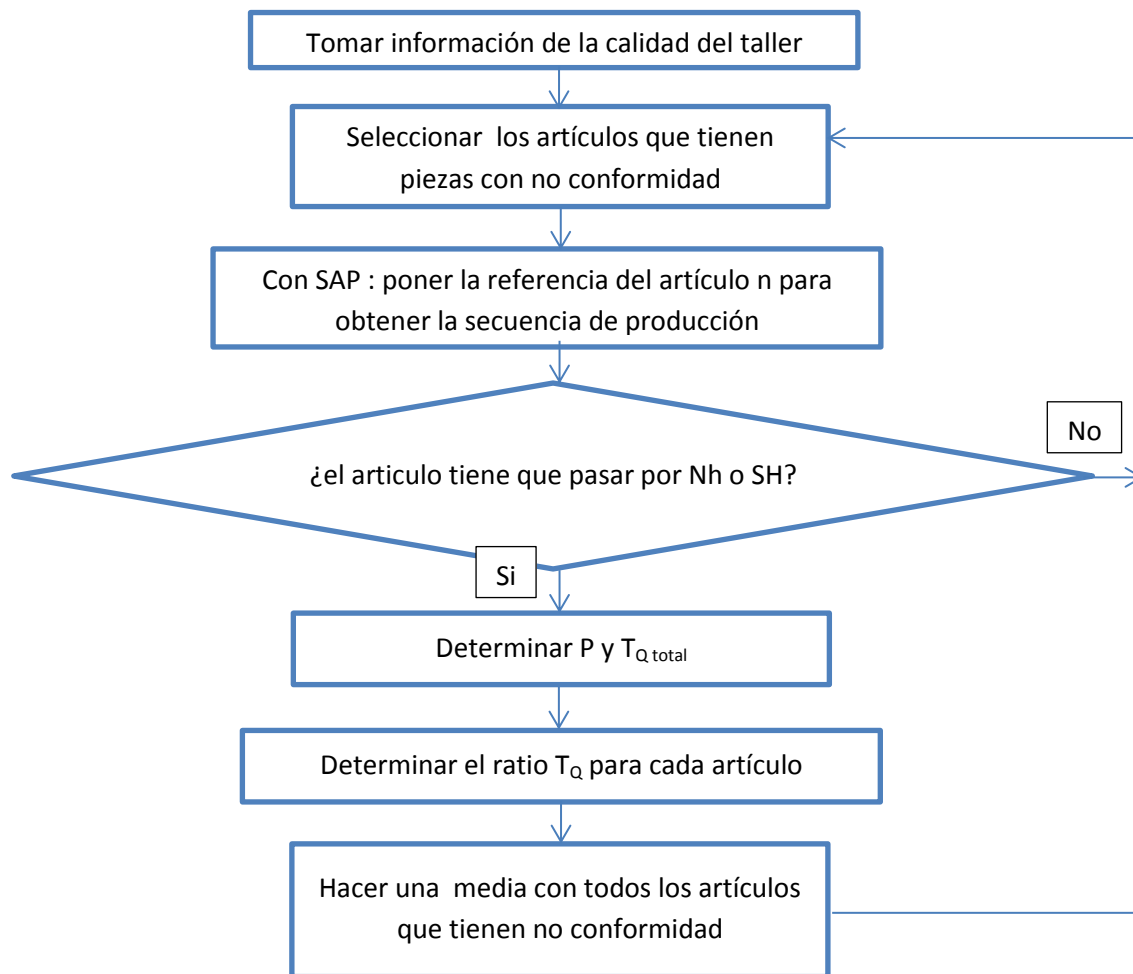
Tras sustituir  $P_2$  por  $Q/A$ ,  $T_{Q \text{ total}}$  por  $(N-R)/N$  (según lo obtenido en cálculos previos), obtenemos:

$$T_Q = (Q/A) * (N-R)/N$$

Se podría tomar como probabilidad  $P_2 = Q/T$  pero el hecho de tomar sólo la parte de tiempo con riesgo para el cálculo del ratio de calidad aumenta la probabilidad que el medio  $M$  sea la fuente de la no calidad. Además, obtenemos una mejor aproximación ya que eliminamos toda la parte de la secuencia que no puede generar no-calidad.

En el flujograma siguiente (figura 41), se puede observar el procedimiento para obtener los datos necesarios para el cálculo de la media del ratio de calidad para NH o SH.

Consideramos que queremos hacer un estudio del medio  $M$  en el mes  $m$ . La primera etapa es tomar el informe del departamento de la calidad sobre los artículos del taller y seleccionar los artículos que son fuentes de no-calidad en las diferentes órdenes realizadas en el mes  $m$ . Después, se debe tomar las referencias de cada uno de esos artículos. Consideramos que hay  $x$  artículos de este tipo. Después, con SAP, ponemos la referencia del primer artículo y obtenemos su secuencia de proceso. En esta, debemos observar si están los procesos NH o SH. Si no es el caso, debemos buscar con otra referencia de los  $x$  artículos restantes. Si es el caso (si el artículo requiere NH o SH), debemos determinar  $P_2$  como hemos visto antes, mientras que el  $T_{Q \text{ total}}$  del artículo se determina con el informe del departamento de la calidad. A continuación podemos calcular el ratio  $T_Q$  de SH o NH para este artículo. Una vez que hemos buscado para los  $x$  artículos. Hacemos una media con todos los ratio  $T_Q$  de cada artículo fuente de no que han pasado por NH o SH.



*Figura 41 : cálculo de la aproximación del ratio de no-conformidad*

*Fuente : elaboración propia*

Gracias a esta aproximación del ratio de calidad, fue posible observar la totalidad de los tiempos y de los índices vistos en el apartado teórico de este documento. En efecto, gracias a extracciones de SAP y con la ayuda del controlador de gestión de la línea de producción mecánica, hemos conseguido obtener los resultados presentados en la tabla 9 y la figura 42. Se trata de los índices de rendimientos observados de enero 2014 hasta Abril 2014. Recordemos que el ratio de calidad  $T_Q$  fue calculado con el método visto antes.



La figura siguiente nos muestra los resultados de los tiempos. La parte superior de la gráfica muestra la información relativa al centro NH y la parte inferior muestra la información relativa al centro SH. En las barras azules, se indica el desglose de tiempos, desde tiempo total a tiempo útil. En las barras rojas, se tratan de las horas que corresponden a las pérdidas.

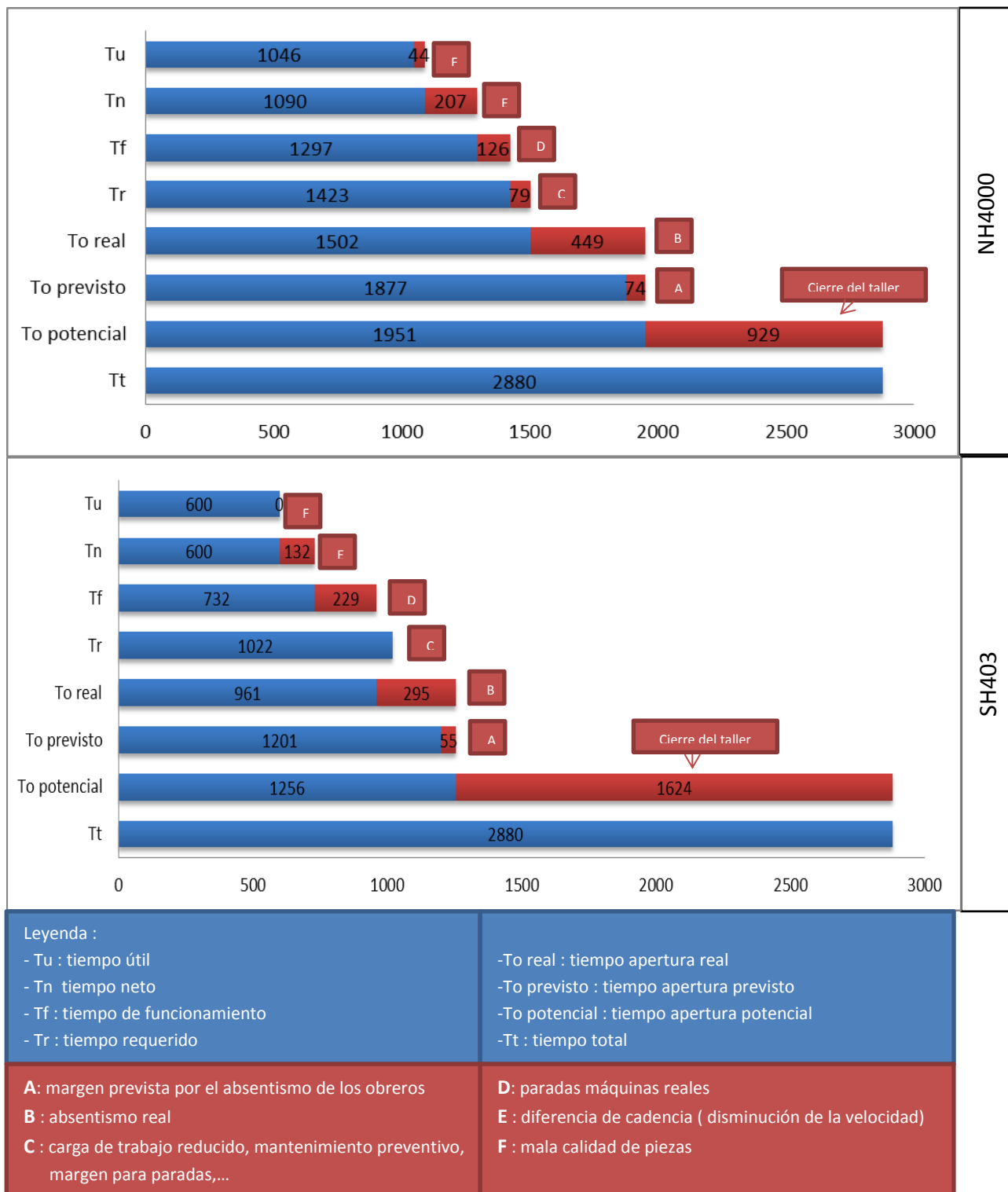


Figura 42: tiempos del TPM por las maquinas NH y SH

Fuente : elaboración propio

En el NH, el tiempo de parada total de la máquina es la diferencia entre el tiempo de apertura potencial ( $T_o$  potencial) y el tiempo de funcionamiento ( $T_f$ ). Lo que nos da: **654** horas. Estas se descomponen de la manera siguiente:

El absentismo real es de 449 horas (véase en la figura 42 como B) (mientras que el margen previsto es de 74 horas) y las paradas reales de las máquinas son de  $126 + 79 = 205$  horas (véase en la figura 42 como D y C).

El industrial quería producir 1423 horas de carga ( $T_r$ ) con una apertura de 1877 ( $T_o$  previsto) (había previsto el absentismo). Es decir que tomó un margen de paradas de máquina de  $1877 - 1423 = 454$  horas.

El problema es que tenemos una diferencia de  $654 - 454 = 200$  horas de funcionamiento.

Además, vemos que el medio de producción permaneció cerrado durante 929 horas y que el tiempo perdido estimado a causa de la producción de piezas de no calidad es de 44 horas. Las pérdidas debidas a la cadencia reducida son de 207 horas.

En el SH, como en el caso anterior, el tiempo de parada total de la máquina es la diferencia entre el tiempo de apertura potencial ( $T_o$  potencial) y el tiempo de funcionamiento ( $T_f$ ). Lo que nos da: **524** horas. Estas se descomponen de la manera siguiente:

El absentismo real es de 295 horas (véase en la figura 42 como B) (mientras que el margen previsto es de 55 horas) y las paradas de las máquinas son de 229 horas (véase en la figura 42 como D)

Normalmente, el industrial quería producir 1022 horas de carga ( $T_r$ ) con una apertura de 1201 horas ( $T_o$  previsto) (había previsto absentismo). Es decir que tomó un margen de parada máquina de  $1201 - 1022 = 179$  horas.

El problema es que tenemos una diferencia de  $524 - 179 = 345$  horas de funcionamiento.

Además Vemos que el medio de producción permaneció cerrado durante 1624 horas. Las pérdidas debidas a la cadencia reducida son de 132 horas. En la figura, se puede ver que no hay tiempo perdido por problemas de no calidad con las piezas.

Se puede concluir que los tiempos perdidos son elevados. Por tanto, este será un punto a mejorar en próximos apartados.

Ahora, vamos a medir los índices de rendimientos.

La tabla siguiente se compone de dos partes. Una con los datos de SH y la otra con los datos de NH. La tabla nos muestra los índices  $T_s$ ,  $T_c$ ,  $DO$ ,  $T_p$  y  $T_q$  que hemos visto en el marco teórico. Además, nos muestra los índices de rendimientos TRS, TRG y TRE deducidos de los índices precedentes. Podemos observar los resultados para cada mes (de enero hasta abril). En las columnas azules, tenemos una media de todos los índices para los 4 meses.

	SH403					NH4000				
Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Media	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Media
Ts	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67
Tc	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76
DO	0.69	0.7	0.76	0.73	0.72	0.91	0.92	0.86	0.87	0.89
Tp	0.9	0.92	0.73	0.81	0.84	0.81	0.8	0.75	0.88	0.81
Tq	1	1	1	1	1	1	0.9	0.9	1	0.95
TRS	0.62	0.58	0.50	0.59	0.57	0.74	0.74	0.65	0.77	0.72
TRG	0.53	0.49	0.42	0.50	0.49	0.56	0.56	0.49	0.58	0.55
TRE	0.23	0.21	0.18	0.22	0.21	0.38	0.37	0.33	0.39	0.37

Tabla 9: Índices de rendimiento de NH y SH por el primer cuatrimestre

Fuente: elaboración propia

A partir de la tabla, vemos que la media del índice de rendimiento sintético (TRS) para el SH es de 0.57 y la media del índice de rendimiento global (TRG) para el SH es de 0. Es decir que el SH produce piezas buenas a cadencia normal sólo durante el 50% de su tiempo de apertura. El industrial quería un TRS de 100% (idealmente) y un TRG de  $Tr/To$  potencial  $1022/1256 = 81\%$ . (figura 42). Un TRS de 100% se consigue con ratios de calidad, de eficiencia y una disponibilidad operacional todos igual a uno ( $TRS = TQ \cdot Tp \cdot DO$ ). Así, el TRG ideal sería igual al coeficiente entre el tiempo requerido y el tiempo de apertura. Según la tabla, la media del rendimiento económico es muy bajo para el SH ( $TRE = 0.21$ ). Lo que quiere decir que la dirección compró una máquina y que aquella funciona correctamente sólo el 21% del tiempo que está dentro de la planta. Según el industria, el TRE que deberíamos obtener idealmente sería de  $Tr/Tt = 1201/2880 = 42\%$  (datos figura 42).

Para el NH, la media del TRS es de 0.72, la media del TRG de 0.55 y la media del TRE de 0.37. De manera similar que son el SH, idealmente, el TRS querido sería de 100%, el TRG de  $Tr/To$  potencial =  $1423/1951 = 73\%$  Y el TRE de  $Tr/Tt = 1423/2880 = 50\%$ .

Así, vemos que los rendimientos de manera general son muy bajos. Los problemas precisos han sido identificados en el análisis de los tiempos perdidos.

La fase de medida acaba aquí. Ahora, vamos a empezar la fase de análisis de esas medidas por los dos islotes del perímetro del proyecto. Tenemos, en la parte siguiente, identificar las causas para mejorarlos.

## 4.3 ANALISIS

En esta tercera fase de la metodología DMAIC, voy a analizar las causas de los problemas vistos en la etapa precedente. Más precisamente, voy a identificar las causas que hacen que el funcionamiento de los islotes no sea óptimo así como las causas que podemos mejorar sobre los dos islotes. En una primera parte, voy a identificar las causas a mejorar sobre el islote de la rectificación y en una segunda parte voy a identificar las causas del bajo rendimiento del islote NH-SH.

### 4.3.1 CAUSAS A MEJORAR Y PROPUESTAS DE MEJORA SOBRE EL ISLOTE DE RECTIFICACION

En primer lugar, vamos a identificar cuáles son los problemas más críticos de los problemas revelados con los análisis 5M, el cursograma analítico y el estudio de los flujos efectuados sobre el islote de rectificación.

En el análisis 5M, recordemos que había problemas con criterios relativos a los medios de producción y máquina, el medio ambiente, los métodos y o materiales. Podemos clasificar los problemas en 2 partes: los que tienen una nota de 1 en la auditoría de los 5M, y los que tienen una nota de 3. Los problemas asociados a los criterios que tienen una nota de 1 son:

- No la totalidad de las herramientas del puesto están adaptadas y en buenas condiciones, sólo 50% lo están.
- Sólo la mitad de los medios de control están adaptados y en buenas condiciones.
- Los equipamientos de seguridad no están revisados y disponibles.
- Existe un fuerte desorden y una ergonomía deficiente en el islote.
- Existe una falta de fichas donde se documentan los riesgos de los puestos de trabajo.
- Existe una mala gestión de la documentación, hay documentos obsoletos en el islote.
- Las instrucciones de fabricación y de control no son seguidas permanentemente.
- No hay guía que se pueda consultar para saber cómo se utilizan.
- Los planes con la definición de las piezas no siguen el fichero de la orden de fabricación.
- No hay indicadores pertinentes y muchos son obsoletos.
- No hay un área destinada para el stock.
- Los flujos no son claros en el islote.

Los problemas asociados a los criterios que tienen una nota de 3 son:

- No hay documentación de los procedimientos para controlar riesgos.
- Los puestos de trabajo no están limpios.

A continuación, los diagramas de flujos de los operarios y de las piezas del apartado 4.2.1.2 nos muestran diferentes problemas:

- Una distancia recogida importante por el operario en el islote durante su turno.
- Los flujos del operario en el islote se cruzan
- Las piezas mecanizadas en el islote pueden recoger una distancia muy importante.

El cursograma analítico del apartado 4.2.1.3 nos muestra también problemas relativos a una mala utilización del tiempo durante el funcionamiento de una máquina:

- Se emplea un tiempo importante para caminar de una máquina a otra.
- El tiempo para tomar herramientas de mantenimiento y de control es elevado.

Para identificar la criticidad de esos problemas, vamos a clasificarlos en diferentes grupos.

- Primero, vamos a agrupar los problemas que pueden impedir directamente el trabajo de los operarios, estos problemas hacen referencia a :
  - La falta de herramientas adaptadas y en buenas condiciones y la presencia de herramientas inútiles.
  - La falta de los medios de control y la presencia de medios de control inútiles.
  - La falta de los planes de definición de las piezas.
  - El tiempo elevado para tomar herramientas de mantenimiento y de control.
- A continuación, vamos a agrupar los problemas relativos a la seguridad de los operarios:
  - Los equipamientos de seguridad no son revisados.
  - Falta de fichas con los riesgos del puesto.
- Después, los problemas relativos a la organización del islote:
  - Una ergonomía deficiente.
  - La falta de área destinada al stock
  - La falta de flujos claros.
  - La importante distancia recorrida por el operario en el islote durante su turno.
  - Los flujos del operario en el islote que se cruzan
  - El hecho de que las piezas mecanizadas en el islote puedan recoger una distancia muy importante.
  - El tiempo importante para caminar de una máquina a otra.
  - El tiempo elevado para tomar herramientas de mantenimiento y de control.
- Los problemas que pueden alterar la calidad del trabajo:
  - las presencia de documentos obsoletos en el islote.
  - las instrucciones no seguidas permanentemente.
  - la falta de guía para la utilización de las herramientas.
- Los problemas relativos al bienestar de los operarios y a su motivación hacen referencia a:
  - El fuerte desorden.
  - La inexistencia de indicadores pertinentes.
  - De la presencia de puestos sucios.

Si clasificamos estos grupos según su criticidad, obtenemos la clasificación siguiente:

En primer lugar estableceremos que los problemas relativos a la organización son los más críticos, porque en los tres estudios del apartado 4.2.1 este tema está presente.

En segundo lugar, la seguridad de los operarios sería lo más crítico, porque estimo que por hoy, un puesto de trabajo debe ser optimo a nivel de seguridad.

En tercero lugar, los problemas que pueden impedir directamente el trabajo de los operarios serán los más críticos. Es decir que las máquinas no pueden funcionar a causa de esos problemas.

En cuarto lugar, pongamos en un mismo nivel los problemas que pueden alterar la calidad del trabajo y el bienestar de los operarios y su motivación ya que considero que la calidad del trabajo puede estar ligada con el bien estar y la motivación de los operarios.

Esta clasificación fue realizada en acuerdo con el jefe del taller y los supervisores.

A continuación, vamos a detallar las causas de los grupos de problemas identificados anteriormente, junto a ciertas pautas para su solución. Vamos a comenzar por los más críticos, es decir, los son relativos a la organización general del islote.

La primera causa de las largas distancias recogidas por el operario y por las piezas y del tiempo importante para caminar de una máquina a otra es que las máquinas están alejadas unas de otras. Es decir que la disposición de las máquinas no está optimizada.

En segundo lugar, la ergonomía es deficiente, el operario tiene que recorrer largas distancias y el tiempo para tomar herramientas es largo ya que la disposición de los muebles y de los bancos es mala.

En tercero lugar, los flujos no están identificados y no hay una zona definida de entrada y de salida de piezas porque la disposición general de las máquinas no lo permite.

Lo que vemos con esas causas es que la disposición general de los elementos que componen el islote (muebles, bancos y máquinas) no está optimizada. No está optimizada, ya que desde el principio, según el jefe del taller, las antiguas máquinas compartieron el espacio con las nuevas y las herramientas de las diferentes máquinas también. La disposición actual de las máquinas fue adaptada para las antiguas secuencias de trabajo y para el número de operarios. Sin embargo, ahora las secuencias han cambiado y un único operario hace funcionar las 5 máquinas, por tanto, la disposición actual no es adecuada. Deberíamos cambiarla.

Por lo que respecta a los problemas relativos a la seguridad. Si faltan fichas de riesgos del puesto es porque no se presta atención a ellas en el islote. Lo mismo ocurre para los equipamientos de seguridad. Si no se presta atención es ya que no se visualizan bien en el islote. No se visualizan bien en el puesto que hay desorden en el islote. Por lo tanto, se deberían poner nuevas fichas de seguridad, así como controlar los equipamientos de seguridad. También, se debería ordenar el islote para que podamos ver las fichas y los equipamientos y deberíamos implementar una regla de disciplina para que se mantenga ordenado el islote.

A continuación, vamos a ver las causas de los problemas pueden impedir directamente el trabajo de los operarios y varias propuestas para solucionar. 100% de los medios de control y de las herramientas no están adaptadas y en buenas condiciones porque hay una gran parte de esos que son ahora inútiles y porque hay una parte de esos que faltan. Si el operario toma demasiado tiempo para tomar las herramientas de mantenimiento y de control es también porque hay presencia de muebles inútiles y no adaptados y porque hay desorden dentro de los cajones. Eso es debido a dos cosas principales, al hecho de que no había, desde el principio en taller, acciones de orden y de clasificación, y que los obreros tienen la tendencia a conservar herramientas en malas condiciones en lugar de pedir directamente otras que puedan ser más adecuadas para los productos que se fabrican hoy. En este caso se necesitaría clasificar y quitar las herramientas inútiles de los muebles del islote, comprar algunas más adaptadas y en buenas condiciones, ordenar los cajones con las herramientas e implantar una regla de disciplina para que los obreros pidan nuevas herramientas y medios de control cuando se necesiten. Los supervisores pueden también controlar eso.

Además otro problema que afecta al trabajo de los operarios es la falta de planes con la definición de las piezas. Estos planes no se adjuntan exactamente a la pieza a producir o existen órdenes que no los llevan incorporados. El departamento de métodos no sabe que estos no están en la orden cuando ésta llega al islote de rectificación. No lo saben porque los operarios del islote no le dicen a nadie que faltan. No se lo dicen porque tienen planes antiguos y probablemente obsoletos en el puesto de trabajo lo que a su vez está prohibido por la dirección. Por lo tanto, deberíamos, en un primer lugar, quitar esos planes obsoletos del islote, poniendo orden en los documentos del islote. En segundo lugar, deberíamos implementar reglas de disciplina para mantener este orden y también para que los operarios señalen que falta un plan con la definición de las piezas. Si es recurrente, el departamento de métodos debe pensar en cambiar su proceso de suministro de los planes.

Finalmente, vemos las causas de los problemas que alteran de manera general la calidad del trabajo y también el bien estar y la motivación de los obreros. Después de estas causas analizare más varias propuestas para su mejora.

Hemos visto en el párrafo precedente la presencia de documentos obsoletos en el islote. Las instrucciones de fabricación no son seguidas todo el tiempo porque, en un primer lugar, falta una guía para la utilización de las herramientas. Si falta es porque existe un sólo documento de esas reglas para todo el taller, que además no es consultado porque es demasiado largo y porque el jefe y los supervisores no promueven a los obreros para que lo consulten. Por tanto, para resolver el problema inicial se debería, reducir el tamaño del documento y hacer fichas resumiéndolo. Después favorecer la comunicación entre los jefes y los obreros para que promuevan utilizar esas fichas y finalmente se deberían implementar esas fichas en cada puesto de trabajo.

El fuerte desorden y los puestos no limpios son problemas que pueden influir sobre la motivación de los obreros y así sobre la calidad de los productos. Si hay desorden es porque hay cosas inútiles en el islote y porque no hay un emplazamiento preciso para herramientas. Al igual que en el caso anterior, concluimos que deberíamos limpiar, ordenar e implementar reglas para que se conserve el orden y los puestos limpios.

Todas las informaciones que utilicé para identificar las causas de los problemas vienen de una observación directa que hice con los operarios y los supervisores.



Finalmente, vemos que los cuatros grupos de problemas presentan causas comunes. En efecto las principales causas son las siguientes:

- Disposición actual de los elementos del islote debido a un antiguo funcionamiento del islote. Esta disposición no es adecuada para el funcionamiento actual.
- El desorden general del islote.
- La falta de reglas de disciplina para ordenar el islote, quitar los elementos inútiles, pedir nuevos medios de producción o planes.
- La mala comunicación entre los operarios y la dirección del taller.

Por lo tanto, según he comentado anteriormente, propuse al jefe del taller y a los supervisores dos soluciones para resolver gran parte de los problemas vistos en toda la escala de criticidad elaborada antes:

- acciones 5S para ordenar, clasificar, limpiar el islote... y para implementar reglas que se mantengan a través de disciplina.
- un nuevo layout adecuado al funcionamiento actual del islote.

Después de una reunión con el jefe y los supervisores he obtenido el visto bueno para realizar las acciones 5S y para estudiar una nueva posibilidad de layout.

La implantación de estas acciones se describe en el apartado 5.1.

#### 4.3.2 CAUSAS A MEJORAR Y PROPUESTAS DE MEJORA EN EL ISLOTE NH-SH

En el apartado 4.2.2 hemos identificados los problemas que surgen en el islote NH-SH, por lo tanto, en este apartado vamos a analizar las causas de esos problemas. Este apartado de análisis es más largo que el análisis dedicado al del islote de rectificación, por lo tanto he decidido añadir subapartados a esta parte.

##### 4.3.2.1 ENUMERACION DE LOS PROBLEMAS

En un primer lugar, de manera similar que en el apartado 4.3.1, vamos a identificar qué problemas son los más críticos de los identificados en la fase de medida.

Como en el caso precedente, el análisis de las 5" M" nos muestra que tenemos problemas con los criterios relativos a los medios de producción y máquina, al medio ambiente, a los métodos y a los materiales.

Clasificamos los problemas en 2 partes, los que tienen una nota de 1 y los que tienen una nota de 3.

Los problemas relativos a los criterios que tienen una nota de 1 son los siguientes:

- Sólo tenemos un 30% de los medios de control adaptados y en buenas condiciones.
- Los equipamientos de seguridad no están revisados.

- Las fichas de riesgos faltan.
- La presencia de documentación obsoleta en el islote.
- Las instrucciones no son aplicadas todo el tiempo.
- No hay una guía para la utilización de las herramientas.
- Los planes con la definición de las piezas que están disponibles.
- Los indicadores fijados para el puesto no son pertinentes ni están actualizados.
- No hay una zona destinada al stock en curso.
- Los flujos en el islote no son claros ni están identificados.

Los problemas relativos a los criterios que tienen una nota de 3 son los siguientes:

- Sólo tenemos un 50% de los medios de manutención disponibles y adaptados al puesto de trabajo.
- Los procedimientos para controlar los riesgos son conocidos pero no están documentados.
- La ergonomía del puesto que es deficiente.
- El puesto está sucio.

A continuación, los diagramas de flujos de las piezas nos muestran que la ubicación del puesto de desbarbado manual no es óptima. En efecto, hay una diferencia de 5 metros entre la distancia recogida por una pieza mecanizada en NH y una mecanizada en SH. Son 5 metros con respecto a distancias de 16 y 21m, es decir, que la pieza mecanizada en NH recoge una distancia un 31% más larga que una pieza mecanizada en SH.

El diagrama de flujo del obrero, muestra que la disposición de los muebles con herramientas para las máquinas y de la zona de control calidad no es óptima.

El cursograma analítico nos muestra ratios de tiempo sin valor añadido elevados. Estos son debidos a que el tiempo en curso de fabricación es muy elevado.

Las medidas de los índices de rendimiento y de los tiempos de pérdidas nos muestran índices de rendimiento bajos y tiempos de pérdidas elevados.

#### 4.3.2.2 CLASIFICACION EN GRUPO DE TIPO DE LOS PROBLEMAS

Para identificar las causas de esos problemas, de manera similar que en el apartado precedente, voy a clasificar los problemas en grupos.

- El primer grupo corresponde con los problemas que pueden impedir directamente el trabajo de los operarios. Estos problemas hacen referencia a que:
  - Sólo el 30% de los medios de control están adaptados y en buenas condiciones.
  - La presencia de documentación obsoleta en el islote.
  - Existencia de instrucciones que no son aplicadas todo el tiempo.
  - Sólo el 50% de los medios de manutención están disponibles y adaptados al puesto de trabajo

- El segundo grupo corresponde con los problemas relativos a la seguridad de los operarios y agrupa los siguientes problemas:
  - Los equipamientos de seguridad no están revisados.
  - La falta de fichas de riesgos del puesto.
  
- El tercero grupo, que corresponde con los problemas relativos a la organización general del islote, agrupa los siguientes problemas:
  - Una ergonomía deficiente.
  - La falta de área destinada al stock.
  - La falta de flujos claros.
  - La mala ubicación del puesto de desbarbado.
  - La mala disposición de los medios de control y de las herramientas para las máquinas.
  - Un cuello de botella: tiempo de espera elevado para los stocks en curso.
  - Índices de rendimiento bajos.
  - Tiempos de pérdidas elevados.
  
- El cuarto grupo hace referencia a los problemas que pueden alterar la calidad del trabajo y aglutina los siguientes problemas:
  - La presencia de documentos obsoletos en el islote.
  - La falta de seguimiento de las instrucciones.
  - La falta de una guía para la utilización de las herramientas.
  - La existencia de procedimientos para controlar los riesgos conocidos pero no documentados.
  
- El quinto grupo recoge los problemas que pueden alterar el bienestar del trabajador, que son:
  - El fuerte desorden.
  - La existencia de indicadores no pertinentes.
  - Los puestos sucios

#### 4.3.2.3 CLASIFICACIÓN POR CRITICIDAD DE LOS GRUPOS DE PROBLEMAS

A continuación, vamos a clasificar los grupos de problemas según criticidad. La clasificación es similar, por los mismos motivos a la presentada en apartado anterior.

El grupo más crítico es el relativo a los problemas de organización del islote, porque se trata de un tema recurrente en todos los estudios del apartado 4.2.2.

El segundo más crítico, por la misma razón que en el apartado 4.3.1, es el grupo de problemas relativos a la seguridad.

El tercero el grupo de los problemas que pueden impedir directamente el trabajo de los operarios.

Y el cuarto recoge los grupos de problemas que pueden alterar a la calidad del trabajo y el bienestar de los operarios y a sus motivaciones.

#### 4.3.2.4 IDENTIFICACIÓN DE LAS CAUSAS DE LOS PROBLEMAS RELATIVOS A LA ORGANIZACIÓN DEL ISLOTE

A continuación, vamos a identificar las causas de los grupos de problemas identificados en el apartado 4.3.2.1. En primer lugar, vamos a estudiar las causas de los más críticos, es decir los que son relativos a la organización general del islote.

##### 4.3.2.4.1 CAUSAS DE PROBLEMAS DE ERGONOMIA Y UBICACION

Los problemas de ergonomía y de la mala ubicación de los puestos de trabajo, del almacén de los medios de control y de las herramientas de fabricación son problemas causados por la misma razón evocada en el apartado 4.3.1. En efecto, antes de esas máquinas, había otros centros de mecanizado que funcionaban de forma diferente y los emplazamientos para configurar las máquinas o para montar las piezas no eran los mismos. Las antiguas máquinas han sido sustituidas por las nuevas directamente, sin adaptar las zonas y los muebles. Es decir, sin adaptar el layout del islote. Durante el transcurso de los años, se incorporaron muebles y bancos sin revisar la distribución en planta final.

Esto conduce a otros problemas, como la existencia de flujos no identificados a la falta de un área de stock en curso. No se dispone de esto porque la distribución en planta no permite implementarlo al no estar optimizada. No lo está optimizada porque la distribución no fue revisada desde el principio.

##### 4.3.2.4.2 CAUSAS DE PROBLEMAS DE CUELLO DE BOTELLA A LA SALIDA DEL ISLOTE

Otro problema importante a la organización del islote, es el elevado tiempo de espera para el stock en curso que debe moverse entre el islote NH-SH y el islote de ajuste. He observado que hay una sobrecarga en el islote de ajuste. El tiempo que esperan en el almacén en curso todos los artículos que pasan por el ajuste (no sólo los artículos de NH y SH) es muy elevado y esto hace que los plazos de los productos de NH-SH no se estén cumplidos. Normalmente, según el jefe del taller, los recursos humanos se adaptan según la carga de trabajo (hay correspondencia entre la capacidad de los recursos y el tiempo de realización previsto para el ajuste). Sin embargo, lo que he observado es que un ajustador trata muchos tipos de piezas (hay unos 100 tipos de artículos diferentes que necesitan ajuste) y cada artículo tiene tareas diferentes. Es decir que el ajustador no ha tenido el tiempo para acostumbrarse a los métodos de ajuste de una pieza cuando tiene que comenzar a tratar otra orden de fabricación con un artículo totalmente diferente. De esta forma, el rendimiento de los ajustadores es óptimo durante sólo una pequeña parte del tiempo (cuando llega al fin de la orden de fabricación en la que lleva tratando n piezas de un mismo tipo de forma consecutiva). Para resumir, tenemos un cuello de botella entre NH-SH y el ajuste a causa de una sobrecarga en el islote de ajuste. Esta sobrecarga es debida al mal rendimiento de los operarios del ajuste y a su vez éste es debido a que existe una gran variedad de artículos.

#### 4.3.2.4.3 CAUSAS DE PROBLEMAS DE RENDIMIENTOS BAJOS

En el apartado de las medidas sobre el islote NH-SH, vimos otros problemas mayores relativos a la organización. En efecto, vimos problemas de rendimientos bajos en ambos centros y problemas de tiempos de funcionamiento bajos. Como hemos visto en el marco teórico esos dos problemas están relacionados. En efecto, si el rendimiento global del medio de producción es bajo es porque dicho medio de producción tiene paradas de funcionamiento.

Vamos a observar en detalle los tiempos deficientes que dan esos índices de calidad, de eficiencia, la disponibilidad operacional y el índice de carga (los porcentajes y las horas que vamos a ver en los párrafos siguientes son los que vimos en el apartado 4.2.2, es decir durante la fase de medida en el islote NH-SH).

En primer lugar, el ratio de calidad del NH es del 95% ( $T_q$  en la tabla 9 expuesta anteriormente) ya que se observa una diferencia de 44 horas (véase en la figura 42 expuesta anteriormente) perdidas a causa de la no calidad de algunas piezas fabricadas en este centro. Lo que representa 2.5 % del tiempo de uso potencial de la máquina ( $T_o$  potencial en la figura 42). Según los datos, la máquina SH no genera problema de no-calidad (véase que  $F$  es 0 en la figura 42).

En segundo lugar, el ratio de eficiencia de NH es del 81% y el ratio de eficiencia del SH es del 84% (véase en la tabla 9). Esos índices son debidos a 207 horas de pérdidas por el NH y 132 horas por el SH (véase en la figura 42). Esas horas representan las pérdidas debidas a tener una cadencia real inferior a la teórica. En la actualidad, en el taller, es el responsable de la mejora continua de los procesos quien intenta de mejorar el índice de eficiencia. Para el NH, esas pérdidas representan el 11% de las horas de uso potencial de la máquina y el 10.5 % para el SH.

En tercero lugar, la disponibilidad operacional del NH es del 89% y la del SH es del 72%. Esos índices son debidos a 205 horas de pérdidas para el NH y 229 horas para el SH (suma de  $D$  y  $C$  indicados en la figura 42). Es decir que, por ejemplo, aunque un operario estaba presente en el NH durante 1502h ( $T_o$  real en la figura 42), la máquina no funcionaba durante 205 horas. Las paradas de máquinas sobre el tiempo de uso potencial representan un 11% para NH y un 18% para SH.

En cuarto lugar, el ratio de carga del NH es de 0.76 y de 0.85 para el SH ( $T_c$ , en la tabla 9). Esos índices son debidos a 449 horas de pérdidas por absentismo en el NH y 295h en el SH (véase  $C$  en la figura 42). Por lo tanto el absentismo representa el 23% del tiempo de uso potencial para el NH y 23 % también para el SH.

Normalmente, existen márgenes previstos por el industrial para las paradas. En efecto, si tomamos el ejemplo del NH, hay un margen de 74 horas (véase  $A$  en la figura 42) previsto para el absentismo lo que representa el 4 % del tiempo de uso potencial. Para el SH, hay 55 horas, lo que representa el 4.4% del tiempo de uso potencial. Además, hay un margen previsto para el resto de paradas, es decir, para las paradas relativas a los defectos de cadencia y para los defectos de calidad. Se trata de la diferencia entre el tiempo necesario teórico y el tiempo de uso previsto ( $T_o$  potencial –  $T_{previsto}$  en la figura 42). En nuestro caso, obtenemos 454 horas de margen para el NH y 179 horas para el SH, lo que representa respectivamente el 23% del tiempo potencial de apertura y el 14% para cada centro.

He sintetizado todas las observaciones descritas en este subapartado en la tabla 10. Esta tabla tiene dos partes, la de la izquierda con los datos relativos a NH y la de la derecha con los datos de SH. La primera columna nos muestra las causas que originan los rendimientos bajos. Es decir las causas vistas en los párrafos precedentes (absentismo de los obreros, paradas de máquinas, reducción de cadencia y no conformidad de las piezas). Dentro la tabla se puede observar para cada causa y para cada máquina, los números de horas, el porcentaje que representa sobre el tiempo total de apertura potencial de la máquina, el margen previsto en horas y lo que representa sobre el tiempo de apertura potencial.

	NH4000, tiempo apertura potencial : 1951h				SH403, tiempo apertura potencial :1256h			
Causa	horas	horas/1951	Horas margen	Margen previsto	horas	hoars/1256	Horas margen	Margen previsto
Absentismo de los obreros	449h	23%	74h	4%	295h	23%	55h	4.4%
Paradas máquinas	205h	11%	454h	23%	229h	18%	179h	14%
Reducción de cadencia	207h	11%			132h	10.5%		
No conformidad de las piezas	44h	2.5%			0h	0%		

*Tabla 10 : tiempo y porcentaje de no funcionamiento de las máquinas sobre el tiempo de apertura potencial.*

*Fuente: elaboración propia*

Podemos constatar en esta tabla el exceso de absentismo sobre el margen: 23% en lugar de 4% para el NH y 23% en lugar de 4.4% para el SH.

Para las otras causas (paradas, reducción y no calidad), tenemos  $11+11+2.5 = 24.5\%$  de tiempo de mal funcionamiento en lugar del 23% previsto para el NH, lo que es aceptable, y tenemos  $18+10.5+0=28.5\%$  en lugar de 14% para el SH lo que no sería admisible.

En la tabla precedente, se puede observar que he ordenado las causas en función del ratio que sus horas de pérdidas representan sobre el tiempo de apertura potencial del medio de producción. Por lo tanto, observamos que la causa principal de paradas es el absentismo para ambos centros, con un ratio elevado y una diferencia elevada respecto al margen previsto. En segunda posición, tenemos las paradas de las máquinas que son una causa importante sobre los rendimientos bajos. Para el SH, su ratio de paradas es superior al margen previsto total del 14%. En tercera posición tenemos la reducción de cadencia. Sin embargo, esa causa no puede ser corregida con nuestro proyecto porque según el jefe del taller, esa causa está siendo tratada por el responsable de la mejora continua de las piezas del taller. En la última posición, están las no conformidades de las piezas que representan poco interés puesto que sus ratios son muy bajos en relación con los otros.

Por tanto, para reducir las paradas tenemos que disminuir los ratios de las dos causas mayores: el absentismo y las paradas de las máquinas. Para ello, vamos a analizar las propias causas de cada uno de estos aspectos.

En primer lugar, voy a analizar las causas de las paradas de las máquinas. Para este análisis, utilicé como primera herramienta, las observaciones de los supervisores. Se trata de observaciones directamente recogidas sobre la máquina. Sin embargo, estaban incompletas. Por lo tanto, con el visto bueno de los supervisores y del jefe del taller, he implementado una tabla que los obreros podían rellenar con el tipo de parada y el tiempo en el que la máquina estaba parada. (Véase en la tabla 11). He implementado esa tabla hasta el fin de mi periodo de prácticas. Para esta fase de análisis solo me he basado en las tablas de las 4 primeras semanas siguientes a su implantación. Durante este tiempo he hablado mucho con los operarios para que las rellenen, explicando el interés de este estudio.

Hay una tabla para cada máquina y la tabla tiene la forma siguiente (véase la tabla11). Todos los días de la semana están arriba y para cada día están representados los tres turnos posibles. La primera columna da propuestas de paradas (parada programada, problemas con la materia prima, limpieza, mantenimiento...). Si hay una parada en una máquina, el obrero rellena la casilla correspondiente al día, a su turno y al tipo de parada con el tiempo de ésta (como podemos ver en el ejemplo con: 1hora, 10min...).

Causa de parada	Lunes			Martes	
	Mañana	Tarde	Noche	mañana	...
Parada programada	1 hora				
Desglose máquina					
Problema con materia prima					
Limpieza					
Mantenimiento		4 horas			
Problema herramienta	10 min				
Problema medio de control calidad					
Problema programa máquina					
Espera de información (planes, instrucciones...)					
Problema lubricante					
Sobrecarga					
Subcarga					

Tabla 11 : Tipo de tabla implementada en los puestos de trabajo para conocer las causas de paradas.

Fuente : elaboración propia



Para el primer cuatrimestre, con las observaciones de los supervisores (realizadas para este cuatrimestre) y la tabla 11 implementada a los puestos durante las 4 semanas, he obtenido los resultados siguientes:

Causas	NH4000	SH403
Parada programada	0	0
Desglose máquina	0	0
Problema con materia prima	0	0
Limpieza	0	1h
Mantenimiento previsto	30h	0
Problema herramienta	20h	30h
Problema medios de control calidad	10h	10h
Problema programa máquina	40h	50h
Espera de información (planes, instrucciones,...)	15h	10h
Problema lubricante	0	0
Sobrecarga	0	0
Subcarga	0	0
<b>total</b>	<b>115h</b>	<b>101h</b>

*Tabla 12: recapitulativo de los resultados obtenidos sobre las causas de las paradas*

*Fuente : elaboración propia.*

Lo que vemos es que la mayor parte del tiempo corresponde con los programas de mantenimiento, falta de herramienta de fabricación (cuando no llegan al mismo tiempo que la orden de fabricación como estaba previsto), falta de los medios de control calidad (especiales), fallos con los programas informáticos de fabricación y espera de información (como los planes o instrucciones). La causa más crítica es la programación de las máquinas. Debido a que se trata de lotes de tamaño pequeño, por tanto los programas cambian con frecuencia en la máquina y se necesita un tiempo de adaptación y de configuración. Como propuesta, deberíamos cambiar el plan de producción para agrupar piezas con mismas características de fabricación pero es imposible porque el plan depende de los pedidos de los clientes. Lo que se podría mejorar, es que el departamento de la programación numérica suministrara programas más fiables.

La causa de la falta de las herramientas de fabricación y de los medios de control calidad de especiales es la misma que para la falta de información (planes e instrucciones). En efecto, todo eso debe llegar al islote con la orden de fabricación y sin embargo, como hemos visto en el apartado 4.3.1, se conserva antiguos planes en el islote o herramientas de fabricación o de control que no sirven para la pieza mecanizada a este momento. Es decir, que hay un fuerte desorden en el islote y por tanto, deberíamos ordenar todo eso, y hacer regresar las herramientas y medios de control al departamento correspondiente después de procesar cada orden de fabricación. Además, se debe mejorar la comunicación entre los supervisores y los obreros ya que los primeros deben asegurarse de que los obreros tienen lo que necesitan. Por lo que respecta al alto tiempo dedicado al mantenimiento preventivo, no podemos cambiarlo, ya que es obligatorio. Pero se puede reprogramar para que interfiera lo menos posible en la producción.

De las 205 horas marcadas en la tabla 10 como paradas de máquina para el NH4000, sólo hemos podido identificar las causas de parada para 115 horas (según muestra la tabla 12). Las 95 horas restantes corresponden con paradas con causa sin identificar. Además, de las 229 horas marcadas en la tabla 10 como paradas de máquina para el SH403, sólo hemos podido identificar las causas de parada para 101 horas (según muestra la tabla 12). Las 128 horas restantes corresponden con paradas con causa sin identificar.

En relación a las horas de paradas con causa sin identificar, lo que he observado personalmente, es que durante esas horas las máquinas están paradas porque el obrero está configurando la máquina para iniciar la orden de fabricación. En efecto, el obrero tiene que configurar las máquinas 1.5 veces cada dos días. Además cuando el obrero está configurando una máquina, por ejemplo el NH, es casi seguro, que la otra máquina, el SH, esté parada puesto que toda la concentración del obrero está sobre la configuración del NH.

Además, se ha comprobado que parte de las paradas con causas no identificadas a partir de los criterios de las tablas 11 y 12 se debe un defecto cuando los obreros fichan las horas que han trabajadas en la máquina. En efecto, el obrero tiene que fichar manualmente diferentes cosas: sus horas de presencia, las horas trabajadas con una máquina y el tiempo total de realización de una orden de fabricación. Con eso, podemos deducir los índices que estudiamos en este proyecto. El problema es que el obrero cree que está siendo controlado su índice de eficiencia (ratio entre el tiempo neto que corresponde a la realización de la orden y el tiempo que el obrero ha trabajado con la máquina). Así, el operario prefiere fichar menos horas trabajadas en la máquina para tener un mejor índice de eficiencia. Esto implica que se registren menos horas de funcionamiento de la máquina. Eso no va a cambiar el índice general de rendimiento (TRG), pero nos impide conocer exactamente la fuente de pérdidas. En efecto, quizás el tiempo de funcionamiento es más elevado, lo que aumenta la disponibilidad operacional, pero si las pérdidas de cadencia aumentan también, disminuye el índice de eficiencia. El jefe del taller y los supervisores estuvieron de acuerdo con esta observación. Sin embargo, querían que continuase buscando mejoras para las paradas y me sugirieron buscar una solución para obtener buenos tiempos de funcionamiento de las máquinas. Además, según hemos identificados en la tabla 10, tenemos otra causa importante del bajo rendimiento: el absentismo. Según lo que he observado y lo que he discutido con los supervisores, la mayor parte del absentismo (95%) es debida a enfermedades. No podemos hacer nada, no es culpa de nadie. Por lo tanto, deberíamos implementar una solución para compensar esta falta con recursos humanos.

Esta parte del análisis ha mostrado las diversas causas de esos rendimientos bajos. Con mi jefe, hemos decidido definir los objetivos de tiempos de pérdidas a alcanzar para producir la carga prevista en el corto plazo: hasta el fin de 2014, es decir desde el mes de abril a mes de diciembre.

Después del análisis del plan de producción hasta el fin de 2014, tenemos que realizar una carga teórica de 2177 horas con el NH. Vamos a determinar nuestros objetivos en relación al número de horas máximas que se puede perder para conseguir la realización de esta carga de trabajo.

Partimos de que, tenemos un tiempo útil a realizar de 2177h por el NH.

Consideramos que vamos a conservar un ratio de no conformidad de 0.95 ( $T_q$  en la tabla 9) como se identificó al inicio del apartado 4.3.2.4.3 y un tiempo de eficiencia de 0.81 ( $T_p$  en la tabla 9) ya que como se dijo anteriormente, teníamos que concentrar nuestras acciones sobre el absentismo y las paradas de las máquinas y no sobre la cadencia.

Es decir que debemos tener hasta el fin de 2014 un tiempo neto mínimo de:  $(T_o \text{ real}) * (1/0.95) = 2177 * (1/0.95) = 2268$  horas y un tiempo de funcionamiento de  $2268 * (1/0.81) = 2800$  horas ( $T_r$ ).

Sabemos que vamos a tener un tiempo de abertura potencial de 3414 horas ( $T_o$  potencial).

Así, podemos concluir que tenemos que tener como máximo:  $3414 - 2800 = 614$  horas de no-funcionamiento, es decir el 18% del tiempo de abertura potencial. Sería el tiempo máximo que podría invertirse en paradas. Además, sabemos que el ratio de no-funcionamiento (a causa del absentismo y de las paradas máquinas solamente) fue de 34% (23% correspondiente a absentismo más 11% correspondiente a paradas de máquinas según la tabla 10).

A partir de esos cálculos, podemos concluir que debemos reducir en un  $34 - 18 = 16\%$  las paradas para satisfacer la producción hasta finales del año.

De la misma manera vamos a deducir el ratio máximo de paradas para el SH403.

Después del análisis del plan de producción hasta el fin de 2014, tenemos que realizar una carga teórica de 1979 horas con el SH. Vamos a determinar nuestros objetivos en relación al número de horas máximas que se puede perder para conseguir la realización de esta carga de trabajo.

Partimos de que, tenemos un tiempo útil a realizar de 1979 horas por el NH.

Consideramos que vamos a conservar un ratio de no conformidad de 1 ( $T_q$  en la tabla 9) como se identificó al inicio del apartado 4.3.2.4.3 y un tiempo de eficiencia de 0.84 ( $T_p$  en la tabla 9) ya que como se dijo anteriormente, teníamos que concentrar nuestras acciones sobre el absentismo y las paradas de las máquinas y no sobre la cadencia.

Es decir que debemos tener hasta el fin de 2014 un tiempo neto mínimo de:  $1979 * 1 = 1979$  horas y un tiempo de funcionamiento de  $1979 * (1/0.84) = 2355$  horas.

Sabemos que vamos a tener un tiempo de abertura potencial de 2800 horas

Así, podemos concluir que tenemos que tener como máximo:  $2800 - 2355 = 445$  horas de no-funcionamiento, es decir el 16% del tiempo de abertura potencial. Sería el tiempo máximo que podría invertirse en paradas. Además, sabemos que el ratio de no-funcionamiento (a causa del absentismo y de las paradas máquinas solamente) fue de 41% (23% correspondiente a absentismo más 18% correspondiente a paradas de máquinas según la tabla 10).

A partir de esos cálculos, podemos concluir que debemos reducir en un  $41 - 16 = 25\%$  las paradas para satisfacer la producción hasta finales del año.

A modo de conclusión del apartado 4.3.2.4, las principales causas a mejorar de los problemas de organización del islote, son:

- La disposición inadecuada de los elementos del islote.
- Los tipos de artículos que llegan a la zona ajuste son demasiado numerosos.
- Hay una mala comunicación entre los supervisores y los obreros en relación a las herramientas.
- Hay una mala recogida de datos por los obreros sobre el funcionamiento real de las máquinas.
- Son necesarios demasiados cambios de configuración en las máquinas.
- Los tiempos de parada de las máquinas son excesivos.

#### 4.3.2.5 IDENTIFICACION DE LAS CAUSAS DE LOS PROBLEMAS DE SEGURIDAD

Por lo que respecta a los problemas relativos a la seguridad, las causas son las mismas que en el islote de rectificación. Si faltan fichas de riesgos del puesto es porque no se presta atención a ellas en el islote. Lo mismo ocurre para los equipamientos de seguridad. Si no se presta atención es porque no se visualizan bien en el islote. No se visualizan bien en el puesto porque hay desorden en el islote. Por lo tanto, se deberían poner nuevas fichas de seguridad, así como controlar los equipamientos de seguridad. También, se debería ordenar el islote para que podamos ver las fichas y los equipamientos y deberíamos implementar una regla de disciplina para que se mantenga ordenado el islote.

#### 4.3.2.6 IDENTIFICACION DE LAS CAUSAS DE LOS PROBLEMAS QUE PUEDEN IMPEDIR EL TRABAJO

A continuación, vamos a ver las causas de los problemas que pueden impedir directamente el trabajo de los operarios y varias propuestas para solucionarlas. En este caso, al igual que en el islote de rectificación, el 100% de los medios de control y de los medios de mantenimiento no están adaptados y en buenas condiciones porque hay una gran parte de ellos que son inútiles. Si el operario toma demasiado tiempo para tomar las herramientas de mantenimiento y de control es también porque hay presencia de muebles inútiles y no adaptados y porque hay desorden dentro de los cajones. Eso es debido a dos causas principales, al hecho de que no había, desde el principio en el taller, acciones de orden y de clasificación, y a que los obreros tienen la tendencia a conservar herramientas en malas condiciones en lugar de pedir directamente otras que puedan ser más adecuadas para los productos que se fabrican ahora. En este caso se necesitaría clasificar y quitar las herramientas inútiles de los muebles del islote, comprar algunas más adaptadas y en buenas condiciones, ordenar los cajones con las herramientas e implantar una regla de disciplina para que los obreros pidan nuevas herramientas y medios de control cuando se necesiten. Los supervisores pueden también controlar eso.

Además otro problema recurrente que afecta al trabajo de los operarios es la falta de planes y de instrucciones con la definición de las piezas. Como hemos visto anteriormente, el departamento de métodos debería pensar en cambiar su proceso de suministro de los planes.

#### 4.3.2.7 IDENTIFICACION DE LAS CAUSAS DE LOS PROBLEMAS RELATIVOS A LA CALIDAD

Esos problemas son similares a los del otro islote. Hemos visto que el hecho de que las instrucciones no sean seguidas combinado con el fuerte desorden y la suciedad de los puestos llegan a las conclusiones siguientes: se debería, reducir el tamaño de los documentos y hacer fichas resumiéndolos. Después, se debería favorecer la comunicación entre los jefes y los obreros para que se promueva el uso de esas fichas y finalmente, se deberían implementar esas fichas en cada puesto de trabajo. Además, deberíamos limpiar, ordenar e implementar reglas para que se conserve el orden y para que los puestos permanezcan limpios.

#### 4.3.2.8 CONCLUSIONES DEL ANALISIS DEL ISLOTE NH-SH

Vamos a concluir sobre las soluciones que deberíamos implementar para mejorar los problemas identificados en este islote.

El análisis precedente ha llevado a identificar las causas siguientes de mejora y una primera propuesta de mejora para cada una de ellas:

- La disposición inadecuada de los elementos en el islote → deberíamos tener otro layout.
- Los tipos de artículos que llegan a la zona ajuste son demasiado numerosos → deberíamos reducir el número de tipos de artículos.
- Hay una mala comunicación entre los supervisores y los obreros a propósito de las herramientas de fabricación y de control → se debería favorecer la comunicación entre ellos.
- Existe una mala recogida de datos por los obreros sobre el funcionamiento real de las máquinas → deberíamos tener un medio automático para obtener datos de las máquinas.
- Hay demasiados cambios de configuración en las máquinas → deberíamos reducirlos.
- No hay reglas para mantener el orden → deberíamos proponer reglas.
- Desde el principio, no existen acciones de orden y de clasificación → deberíamos hacer acciones de este tipo.
- Los obreros conservan herramientas inútiles → deberíamos proponer reglas de trabajo.
- Los obreros no utilizan las instrucciones → deberíamos proponer reglas de disciplina.
- Faltan recursos humanos sobre NH y SH → deberíamos aumentar los recursos.

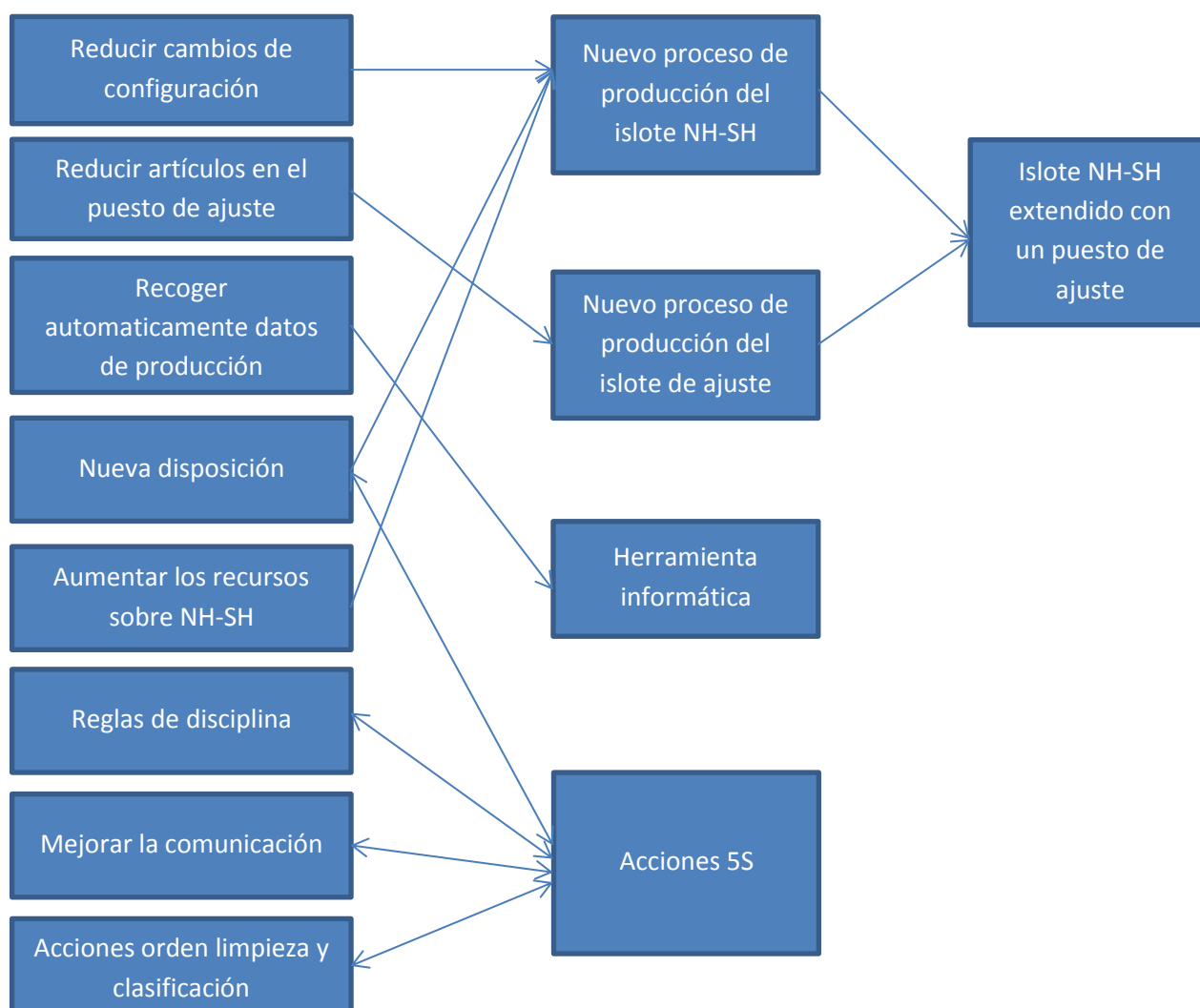
Para sintetizar eso, he realizado la figura siguiente que nos muestra en la parte de la izquierda las causas vistas antes y a la derecha las soluciones que propongo para mitigar o eliminar esas causas. En esta figura puede observar que la implantación de una misma mejora (como el establecimiento de disciplina) mejora varias causas.



*Figura 43: causas de problemas y soluciones en el islote NH-SH*

*Fuente: elaboración propia.*

A continuación voy a proponer soluciones más generales para tratar las causas. Podemos ver en la figura siguiente el camino de enfoque que se pretende en este islote. A la izquierda están las propuestas que hemos visto antes y a la derecha las soluciones generales que propongo para su implementación. Por ejemplos, si tomamos las propuestas de mejora relativas a implementar una nueva disposición, implementar reglas de disciplina, mejorar la comunicación y hacer acciones para ordenar, clasificar y limpiar los puestos de trabajo, podemos resumir estas acciones en la solución general de realizar acciones 5S sobre el islote (véase la parte inferior de la figura 44).



*Figura 44 : busca de soluciones – islote NH-SH*  
*Fuente : elaboración propia*

En la figura 44, se recogen 4 soluciones generales a implementar:

- Cambiar el proceso de producción sobre NH-SH para aumentar los recursos humanos y reducir el número de configuraciones de las máquinas y tener un nuevo layout.
- Cambiar el proceso de producción sobre el islote de ajuste para reducir el número de artículos.
- Hacer acciones 5S para ordenar, limpiar, implementar disciplina... y tener un nuevo layout.
- Implementar una herramienta informática que permita calcular automáticamente las horas de funcionamiento de las máquinas.





Un medio para cambiar los dos procesos de producción identificados anteriormente, sería implementar un islote NH-SH extendido con un puesto de ajuste que trate sólo piezas de NH-SH y se ajuste a las tareas del obrero.

Estas propuestas de mejora fueron sugeridas y discutidas con los supervisores y el jefe del taller. El que dio su visto bueno para empezar la fase de mejora tanto para las soluciones del islote de rectificación como para el islote NH-SH. Esta fase de mejora se detalla en el siguiente capítulo.

# CAPITULO 5:

# FASE DE MEJORA



## CAPITULO 5. FASE DE MEJORA

Después de haber analizado las causas de los problemas sobre los islotes de rectificación y NH-SH, vamos a empezar la cuarta fase de la metodología DMAIC: la etapa de mejora. En un primer apartado, vamos a explicar en detalle cómo se han llevado a cabo las propuestas de mejora identificadas en el capítulo anterior para el islote de rectificación y en un segundo apartado veremos las propuestas para el islote NH-SH.

### 5.1 MEJORA EN EL ISLOTE DE « RECTIFICACION »

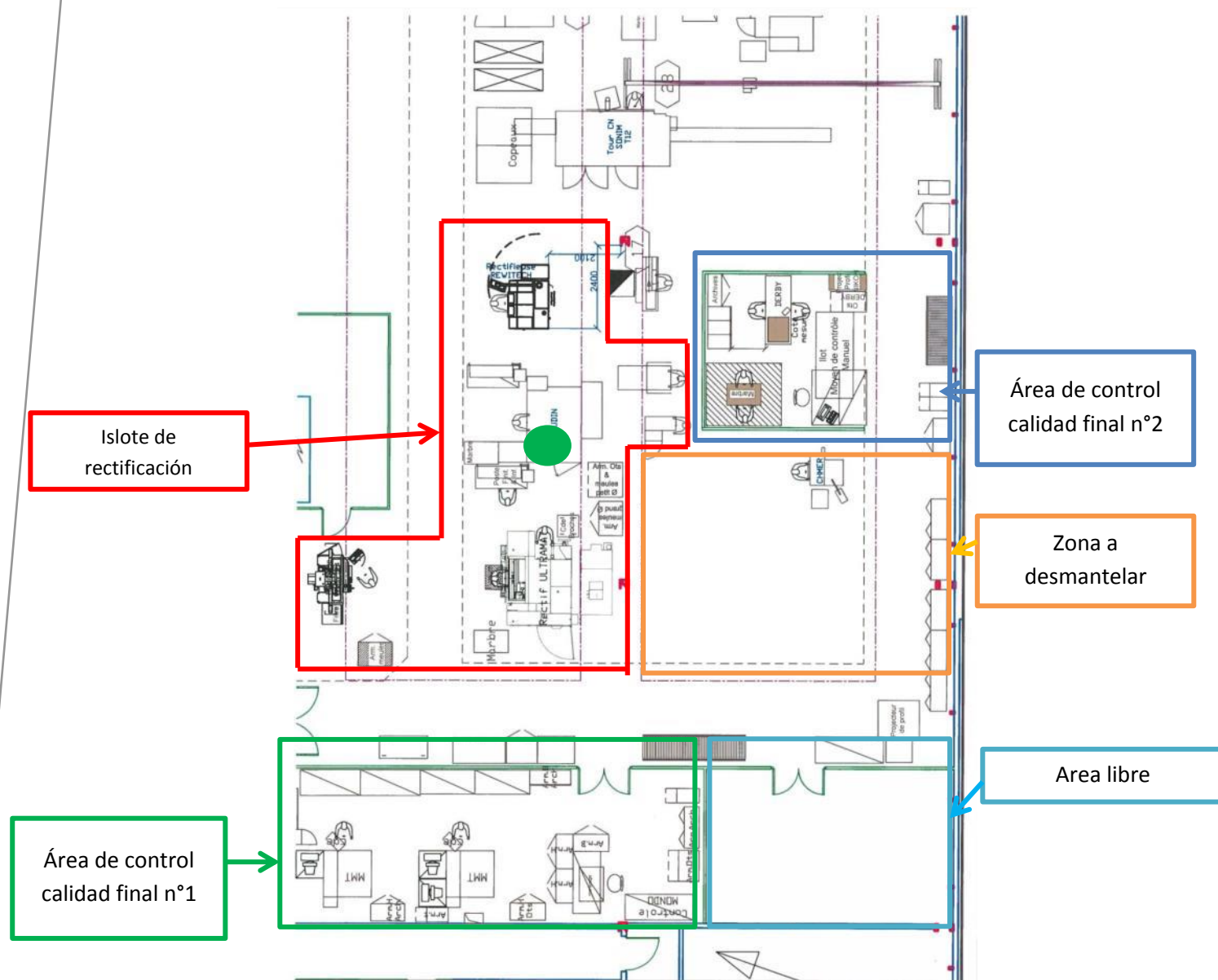
En este apartado, vamos a ver en primer lugar, una nueva disposición del islote de rectificación. En segundo lugar, veremos la solución de las acciones 5S llevadas a cabo.

#### 5.1.1 NUEVA DISPOSICION DE LOS MEDIOS DE PRODUCCION Y DEL EQUIPAMIENTO.

Según el análisis hecho en el apartado 4.3, decidimos de cambiar el layout del islote para obtener un medio ambiente más ergonómico, para facilitar los trayectos de los obreros y de las piezas y para aumentar la superficie libre del taller. Así, en un primer lugar veremos la propuesta de la solución, a continuación veremos la los beneficios de esa solución, y finalmente la planificación de los recursos y de la inversión necesaria.

##### 5.1.1.1 PROPUESTA DE DISPOSICION

Antes de mostrar la nueva disposición vamos a analizar, con la figura siguiente, la disposición actual. La figura muestra la disposición actual de las máquinas del islote pero también del entorno. Podemos ver el islote de rectificación enmarcado en rojo. Este islote está compuesto por 3 máquinas alineadas en el centro del islote, una máquina a la izquierda del enmarcado rojo y otra a la derecha de éste. Como se ve sobre la figura las máquinas del islote están separadas por un pasillo representado por dos líneas de puntos. También hay un área de control de calidad cerca del islote (enmarcada en azul oscuro). Se trata de un área destinada al control final manual de algunas piezas fabricadas en el taller. También hay una sala de control calidad final con dos máquinas de medida tridimensional (enmarcada en verde sobre la figura). La figura muestra un área libre a la derecha de la sala de control de calidad nº1 (enmarcado en azul claro) y una zona a dismantelar entre el área libre y el área de control nº2 (enmarcada en naranja). Se trata de una zona a dismantelar porque antes había una máquina en este emplazamiento y hoy sólo queda todo el equipamiento de esta máquina y otro equipamiento inútil.



*Figura 45: plan de la disposición actual del islote rectificación y de su entorno*  
Fuente : MBDA (2014)

Los objetivos del rediseño de la disposición son en un primer lugar mejorar los flujos de piezas y de los obreros en el islote de rectificación. Una obligación fijada por el jefe del taller es que esa nueva disposición debe optimizar la superficie del taller para adquirir nuevos medios de producción. Para esa nueva disposición, el jefe del taller me dio dos restricciones principales:

- No mover la maquina "TSCHUDIN" (punto verde de la figura 45) porque se trata de una máquina antigua que debe ser quitada en un futuro próximo y no vale la pena y el dinero de desplazarla.
- No mover la sala de control calidad n°1 porque sería muy costoso desplazar la máquinas de medidas tridimensionales y el emplazamiento de la sala en relación con el taller está bien.

Conocidas estas restricciones, la solución propuesta finalmente es la siguiente:

- Mover todas la máquinas del islote rectificación (excepto la TSCHUDIN) (la nueva disposición de las máquinas está representada por estrellas, véase en la figura 46).
- Formar con esas máquinas una forma de "U" para favorecer los flujos.
- Desplazar la zona de control n°2 hasta la zona libre para que las dos áreas de control del taller estén juntas (véase en azul en la figura 47).

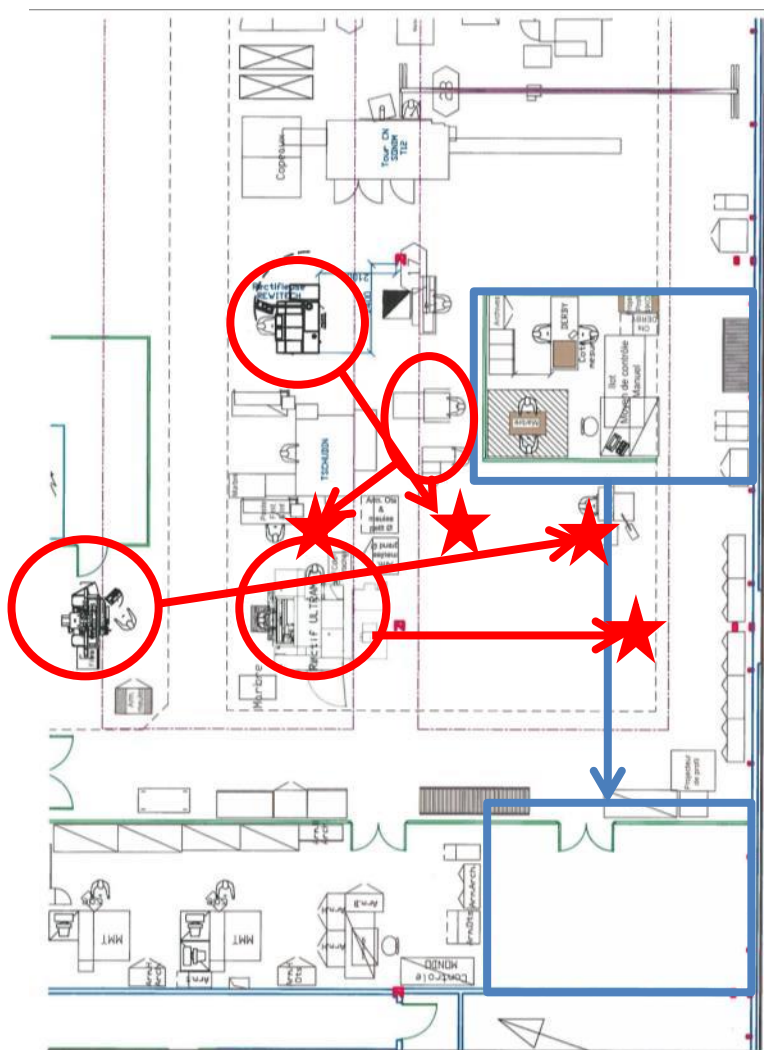



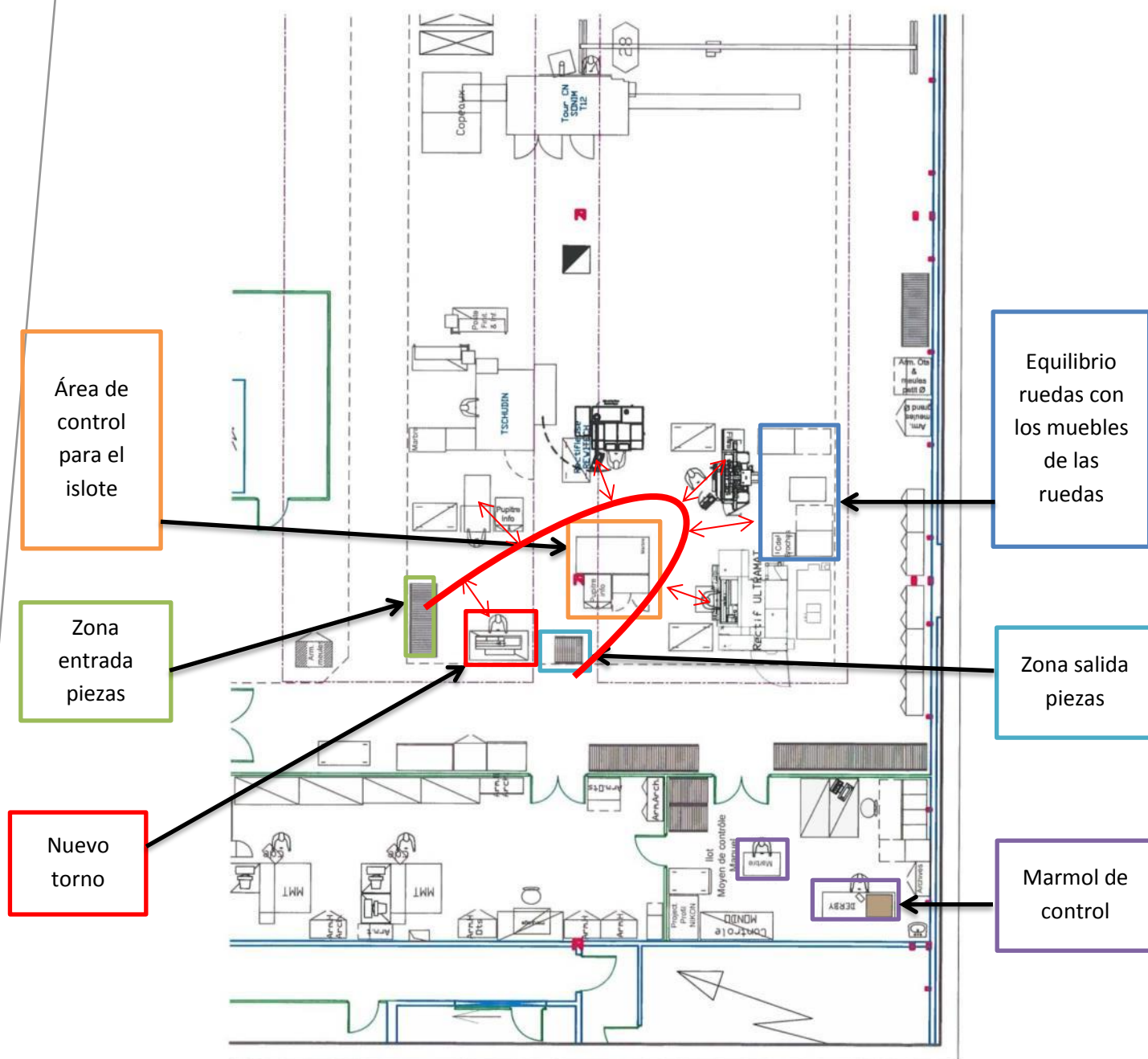
Figura46: descripción de los movimientos de los medios de producción

Fuente: Elaboración propia

A continuación, vamos a analizar el detalle de la solución que propuse para la disposición del islote, es decir, de las máquinas, de los muebles, de los bancos, de las zonas... He realizado esta distribución en detalle a partir de la situación actual y con el software AutoCAD.

- A cada máquina, le he asignado un banco móvil para las herramientas propias de mantenimiento. Véase en la figura siguiente como el símbolo: 
- Podemos ver sobre la figura siguiente la disposición en “U” de las máquinas gracias a la “U” en rojo.
- Además hay otro torno (aparece enmarcado en rojo en la figura 47) que hemos incorporado para hacer una operación especial de rectificación (antes, esa operación se hacía en un torno antiguo, no fiable)
- He añadido una zona para equilibrar las ruedas de rectificación con muebles a ruedas cercas del banco destinado a esta operación (enmarcado en azul oscuro sobre la figura).
- He implementado una zona destinada al auto-control en el islote con los medios de control para que esté cerca del banco de control (enmarcada en naranja en la figura 47). Esta zona está en el centro del islote porque sirve para todas las máquinas. Actualmente, no hay zona definida para el auto-control de las piezas. Los operarios lo hacen en cualquier banco del islote. Esta zona común permite disponer de un lugar específico donde realizar esta operación.
- El puesto informático destinado a descargar los programas de las máquinas y a fichar el número de horas de funcionamiento de las máquinas está situado en el centro del islote también, con la zona de auto-control, ya que es una zona de acceso común para todas las máquinas.
- Hay una zona única de entrada de piezas (en verde claro en la figura 47) y una de salida (en azul claro de la figura 47) para todo el islote. Antes habías varias zonas en el islote y todas no estaban utilizadas.
- Para el transfer de la zona de control calidad, he transferido todos los equipamientos al área que estaba libre inicialmente. La disposición se ha hecho de manera que el controlador puede dar la vuelta de los mármoles de control (enmarcados en violeta sobre la figura 47)





*Figura 47 : nueva disposición de elementos en el islote rectificación*  
Fuente : elaboración propia



#### 5.1.1.2 BENEFICIOS DEL NUEVO LAYOUT

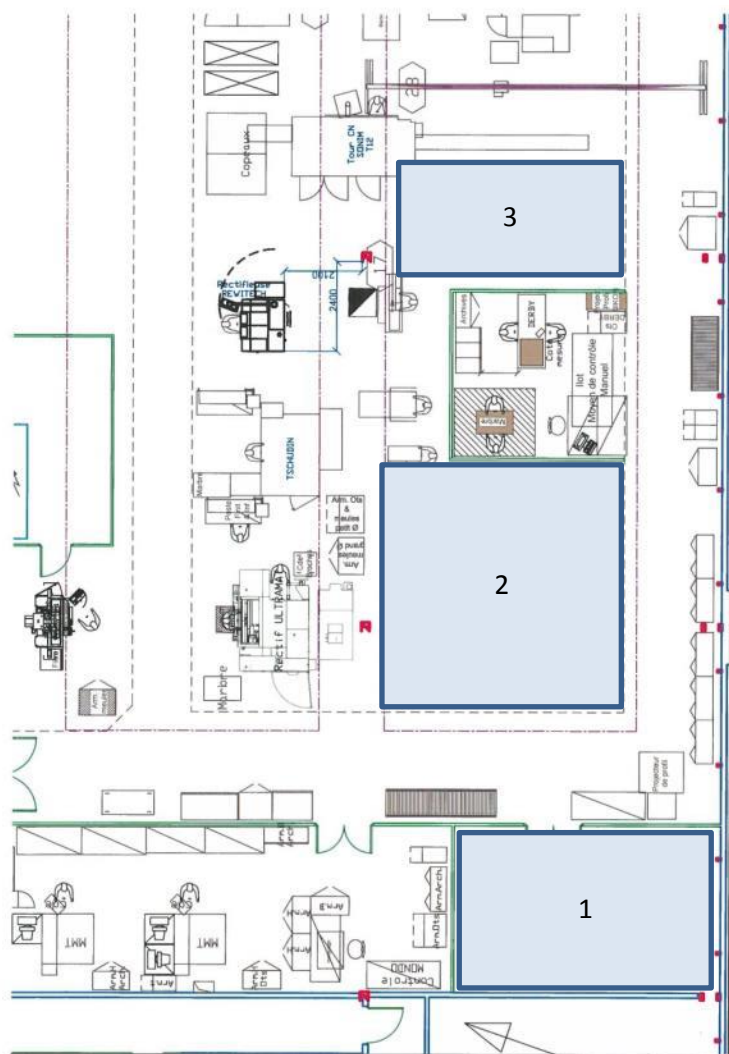
En un primer subapartado, veremos los beneficios posibles relacionados con la optimización de superficie y después, veremos los beneficios relacionados con los flujos.

#### 5.1.1.2.1 OPTIMIZACION DE SUPERFICIE

En este apartado, para justificar la nueva disposición, vamos a evaluar el ahorro de superficie que podemos alcanzar gracias a la nueva disposición. Para esto, fue preciso que todas las superficies fueran calculadas con medidas tomadas directamente en el taller.

Primero, vamos a evaluar la superficie libre disponible con la disposición actual del islote de rectificación y de las áreas de control.

En la figura siguiente, que representa la disposición actual, vemos los 2 áreas que están actualmente libres (la 1 y la 3) y la zona a dismantelar (la 2).



*Figura 48: zonas libres en la disposición actual del islote de rectificación.*

*Fuente: elaboración propia*

La superficie de la zona 1 es de 32.4 m<sup>2</sup>

La superficie de la zona 3 es de 19.25 m<sup>2</sup>

Es decir que tenemos  $19.25 + 32.4 = 51.65$  m<sup>2</sup> libres y disponibles. La superficie de la zona a dismantelar (zona 2) es de 60 m<sup>2</sup>. Está libre pero no disponible, es decir, no se puede utilizar porque en ella se almacenan elementos obsoletos. Con esta disposición tenemos un problema: la superficie está dividido en 3 áreas, lo que hace que sea difícilmente utilizable para construir un nuevo islote.

Ahora vamos a evaluar las superficies libres con la nueva disposición. Como podemos ver sobre la figura siguiente, que representa la propuesta de mejora sugerida, tenemos dos áreas libres y disponibles. La zona 5 tiene una superficie de 17.5 m<sup>2</sup> y la zona 4, 105 m<sup>2</sup>. Es decir un total de 122.5m<sup>2</sup> libres y disponibles. En comparación con la disposición actual, ganamos 70.85m<sup>2</sup> de superficie operativa (122.5 m<sup>2</sup> libres y disponibles en zonas 4 y 5 menos 51.65 m<sup>2</sup> libres y disponibles en zonas 1 y 3). Además, la zona de 105m<sup>2</sup> permite la adquisición de nuevos medios de producción para un nuevo islote. Con esta nueva disposición, también realizamos un ahorro de superficie en el islote de rectificación. En efecto, éste tenía una superficie de 97 m<sup>2</sup> inicialmente, y ahora tiene 74m<sup>2</sup>.

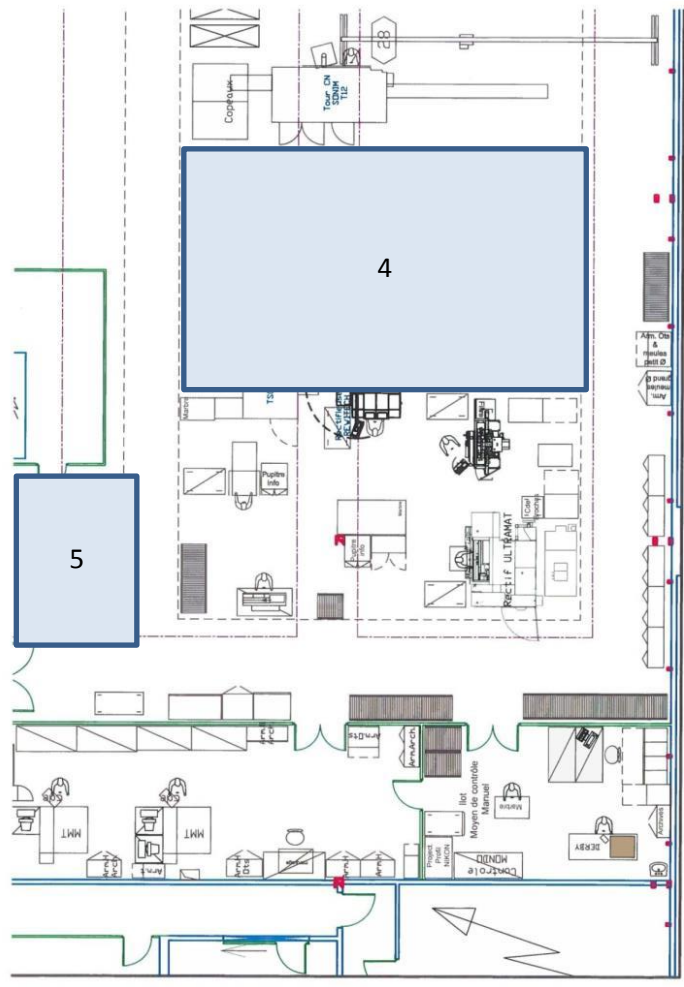


Figura 50 : zonas libres con la propuesta de mejora.

Fuente : elaboración propia

Los ahorros en superficie aparecen recogidos en la tabla 13. La segunda línea de esta tabla concierne a la superficie del área de control que vamos a mover (llamada control zona n°2), la tercera concierne a la superficie del islote de rectificación, la cuarta concierne a la superficie libre y operativa y la quinta concierne a la superficie inútil, es decir inutilizable. La segunda columna muestra las superficies en la antigua disposición y la tercera las superficies en la nueva disposición. La última columna corresponde a la diferencia de superficie entre la nueva y la antigua disposición, lo que permite ver donde ganamos y donde perdemos espacio.

	Antigua disposición	Nueva disposición	Diferencia
Superficie del control zona n°2	20,25 m <sup>2</sup>	32.4m <sup>2</sup>	+ 12.15m <sup>2</sup>
Superficie del islote de rectificación	97m <sup>2</sup>	74m <sup>2</sup>	-23m <sup>2</sup>
Superficie libre y operativa	19.25 (zona 3) + 32.4 (zona 1) = 51.65	105 (zona 4) +17.5 (zona 5) =122.5m <sup>2</sup>	+ 70.85 m <sup>2</sup>
Superficie inútil	60 m <sup>2</sup> ( a dismantelar)	0	-60 m <sup>2</sup>

*Tabla 13 : ahorros en superficie útil en el islote de rectificación*

*Fuente : elaboración propia*

Así, vemos que ganamos 12.15m<sup>2</sup> de superficie para la nueva zona de control. Hacemos un ahorro de 23m<sup>2</sup> en el islote de rectificación. Ganamos 70.85m<sup>2</sup> de superficie libre y operativa y finalmente, eliminamos los 60m<sup>2</sup> de superficie inútil.

#### 5.1.1.2.2 AHORRO POTENCIAL DE DISTANCIA RECOGIDA POR EL OBRERO Y LAS PIEZAS

Ahora, para justificar la nueva disposición, vamos a simular los flujos de los obreros en la nueva situación y después vamos a calcular el ahorro potencial que se puede alcanzar.

En la figura siguiente vamos a representar, de manera similar que en el apartado 4.2, los trayectos de los operarios entre las diferentes máquinas y los diferentes equipamientos del islote.

El flujo naranja representado en la figura 51 representa el aprovisionamiento de piezas (que se hace una vez por la orden de fabricación acercando las piezas a la máquina). A la diferencia del diagrama flujo representado en el apartado 4.2.1, no he representado aprovisionamiento individual de las piezas en cada máquina, porque en la nueva disposición las piezas están a menos de un metro de cada máquina.

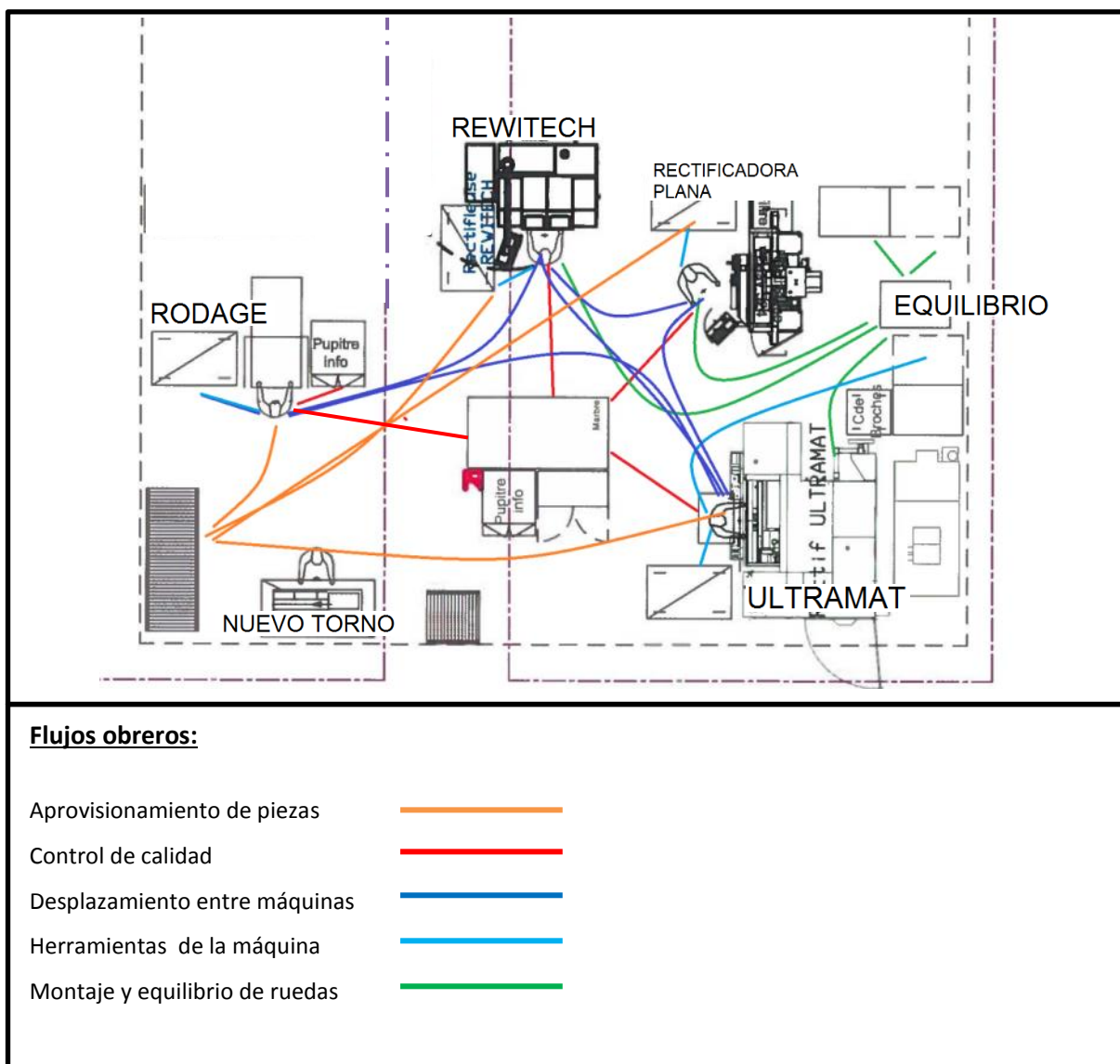
El flujo rojo representa el trayecto que hace el operario entre cada máquina y el puesto de control de calidad.

El flujo azul oscuro muestra los desplazamientos que el operario puede hacer entre las diferentes máquinas de rectificación.

El flujo azul claro muestra el trayecto para obtener las herramientas de cada máquina. Es decir, el trayecto entre la máquina y su banco o mueble dedicado a sus herramientas.

El flujo verde representa el trayecto que hace el operario para equilibrar sus ruedas en la zona dedicada al equilibrio (sólo 3 máquinas necesitan equilibrio de ahí que sólo haya tres flujos en verde).

No hay línea con el nuevo torno (abajo y a la izquierda de la figura 50) porque la operación con este torno se realiza excepcionalmente.



*Figura 50: flujos obreros sobre la nueva disposición del islote rectificación*

*Fuente: elaboración propia*

Una primera observación sobre la figura 51 es que los flujos se cruzan mucho menos que en la disposición inicial (véase la figura 35). Además, hay menos trayectos entre las zonas de herramientas y las máquinas.

A continuación, para cuantificar esos flujos, vamos a calcular el ahorro en distancia recogida que podemos alcanzar. Primero, vamos a hacer exactamente el mismo cálculo que en el apartado de medidas (4.2) para obtener la distancia recorrida por el obrero en función de la máquina con la que trabaja y en función de la cantidad de piezas de la orden de fabricación. Para eso, necesitamos medir las nuevas distancias entre las diferentes máquinas y entre las diferentes áreas del islote. A diferencia de lo realizado en el apartado 4.2, aquí las distancias están evaluadas gracias a medidas tomadas sobre el plan de la nueva disposición del islote. Para calcular la distancia recogida por el obrero para la realización de una orden de fabricación con  $n$  piezas en la máquina  $i$ , utilizamos la fórmula siguiente (establecida en el apartado 4.2):

$$D_{it} = [ (d_o + d_m + d_e + d_{Ap}) + n \cdot (d_{AM} + d_c) + n \cdot Med_i ] \cdot 2$$

Las denominaciones de las distancias son las siguientes:

**$d_o$ :** distancia recogida para tomar y poner a herramientas de mantenimiento (flujos representados en azul claro en la figura 50). Es una distancia de ida y vuelta por lote.

**$d_m$ :** distancia para el montaje de las ruedas (herramientas de la rectificación) (flujos representados en verde en la figura 50) Es una distancia de ida y vuelta por lote.

**$d_e$ :** distancia para el equilibrio de las ruedas (flujos representados en verde en la figura 50). Es una distancia de ida y vuelta por lote.

**$d_{Ap}$ :** distancia para aprovisionar la máquina con las piezas (flujos representados en naranja en la figura 50). Es una distancia de ida y vuelta por lote.

**$d_{AM}$ :** distancia para poner la piezas sobre la máquina (flujo no representado en la figura 50 porque son sólo de 1 metro). Es una distancia de ida y vuelta por pieza.

**$d_c$ :** distancia para controlar la conformidad de las piezas (flujos representados en rojo en la figura 50). Es una distancia de ida y vuelta por pieza.

**$Med_i$ :** Se trata de la distancia media que recorre un obrero para ir de la máquina  $i$  a otra máquina del islote. (Flujos representados en azul oscuro en la figura 50).

Después de medir las distancias, obtenemos la tabla siguiente:

MAQUINAS DE RECTIFICACION				
	ULTRAMAT	RECTIF. PLANA	REWITECH	RODAGE
Distancia hasta control de calidad ( $d_c$ )	2	2	2	2
Distancia hasta herramientas de mantenimiento ( $d_o$ )	5	1	1	1
Distancia hasta montaje de ruedas ( $d_m$ )	4	6	8	0
Distancia hasta equilibrio de ruedas ( $d_e$ )	1	1	1	0
Distancia hasta aprovisionamiento stock- puesto trabajo ( $d_{AP}$ )	7	8	6	2
Distancia hasta aprovisionamiento puesto trabajo- maquina ( $d_{AM}$ )	1	1	1	1
Trayecto hasta las otras máquinas ( $Med_i$ )	Ultramat-rewitech : 4 Ultramat-plana : 3.5 Ultramat-rodage : 6 Media : 4.5	Plana-ultramat : 3.5 Plana-rodage : 6 Plana-rewitech : 2.5 Media = 4	Rewitech-rodage : 4 Rewitech-plana : 2.5 Rewitech-ultramat : 4 Media 3.4	Rodage-plane : 6 Rodage-rewitech : 4 Rodage-ultramat : 6 Media : 5.3
Total para una orden de fabricación de n piezas. ( $D_{it}$ )	$15n+34$	$14n+32$	$12.8n+32$	$16.6n+6$

Tabla14: tabla de las distancias recorridas por el obrero en el islote de rectificación  
Fuente: elaboración propia

Ahora que tenemos las distancias recorridas por el obrero en el islote, vamos a calcular el ahorro en distancia que podemos alcanzar. Siendo  $D_{ia}$ : la distancia recorrida actualmente para la máquina i (que hemos medido en el capítulo 4, tabla 3) y  $D_{it}$ : la distancia recogida con la nueva implantación sobre la maquina i (última línea de la tabla 14). La fórmula para deducir el ahorro en la distancia es:  $A(n) = (D_{ia} - D_{it}) / D_{ia}$ . Esta fórmula depende del número de piezas que componen la orden de fabricación (n).

La tabla siguiente muestra, para cada máquina, una aplicación numérica. Hemos variado el número de piezas entre 10 y 200 y hemos calculado la distancia recorrida en la disposición actual ( $D_{ia}$ ), y la distancia recorrida con la nueva disposición. Hemos elegido ese tipo de variaciones para n porque son los tamaños de lote más frecuentes. Finalmente calculamos el ahorro con la fórmula precedente. La última parte de esta tabla, es decir, las tres últimas líneas corresponden a la “media entre todas las máquinas”.



	N° piezas por orden de fabricación	10	30	40	50	70	80	100	150	200
ULTRAMAT	Distancia recorrida con antigua disposición. Dia	359	952	1248,4	1545	2138,2	2434,8	3028	4511	5994
	Distancia recorrida teóricamente con la nueva disposición. Dit	278	698	908	1118	1538	1748	2168	3218	4268
	Ahorro A(n)	22,5	26,7	27,3	27,6	28,1	28,2	28,4	28,7	28,8
RECTIFICACIÓN PLANA	Distancia recorrida con antigua disposición. Dia	387	1060	1396,4	1733	2406,2	2742,8	3416	5099	6782
	Distancia recorrida teóricamente con la nueva disposición. Dit	152	392	512	632	872	992	1232	1832	2432
	Ahorro A(n)	60,7	63	63,334	63,53	63,76	63,833	63,93	64,071	64,14
REWITECH	Distancia recorrida con antigua disposición. Dia	402	1106	1458	1810	2514	2866	3570	5330	7090
	Distancia recorrida teóricamente con la nueva disposición. Dit	140	356	464	572	788	896	1112	1652	2192
	Ahorro A(n)	65,2	67,8	68,176	68,4	68,656	68,737	68,85	69,006	69,08
RODAGE	Distancia recorrida con antigua disposición. Dia	286	778	1024	1270	1762	2008	2500	3730	4960
	Distancia recorrida teóricamente con la nueva disposición. Dit	152	444	590	736	1028	1174	1466	2196	2926
	Ahorro A(n)	46,9	42,9	42,4	42,0	41,7	41,5	41,4	41,1	41,0
Media entre todas las máquinas	Distancia recorrida con antigua disposición. Dia	1433	3896	5126,8	6358	8820,4	10052	12514	18670	24826
	Distancia recorrida teóricamente con la nueva disposición. Dit	722	1890	2474	3058	4226	4810	5978	8898	11818
	Ahorro A(n)	49,6	51,5	51,744	51,9	52,088	52,147	52,23	52,341	52,4

*Tabla 15 : ahorro de distancia recorrida por el obrero según la máquina del islote y en función del número de piezas de la orden de fabricación.*

*Fuente: elaboración propia.*

Para visualizar la evolución de estos resultados numéricos de ahorro, vamos a realizar, a partir de los valores de la tabla anterior, un gráfico que representa el ahorro para cada máquina en función del valor de n. Cada cursiva representa una máquina y la cursiva azul claro representa el ahorro medio.



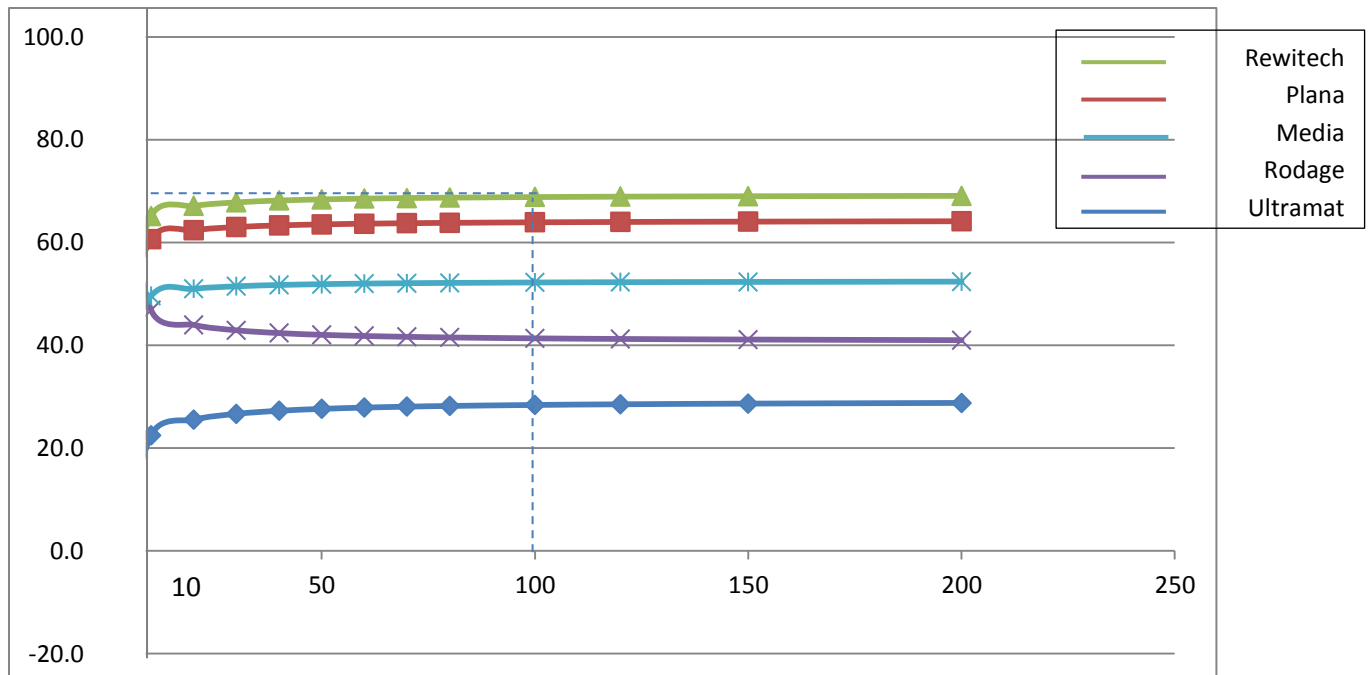


Figura 51: evolución del ahorro por cada máquina según el número de piezas

Fuente: elaboración propia.

Esta figura nos muestra el ahorro en la distancia recorrida por el obrero cuando trabaja sobre una máquina. Por ejemplo, supongamos que el obrero tiene que realizar una orden de fabricación de 100 piezas con la maquina “rewitech”. Los resultados nos muestran que con la nueva disposición, el obrero va a recorrer, una distancia un 70% menor durante sus horas de trabajo (véase la figura 51). De manera general, más o menos los porcentajes de ahorro se mantienen constantes al aumentar  $n$  (véase en la tabla 15), debido a que la parte que multiplica a  $n$  en  $D_{ia}$  y  $D_{it}$  tiene un valor grande en comparación con la constante que se suma después (véase en la tabla 14). Se observa lo evidente, a mayor número de piezas, mayor reparto de la parte fija (parte por lote) de  $D_{ia}$  y  $D_{it}$  y algo más de ahorro (ya que la constante era menor en  $D_{it}$  que en  $D_{ia}$ ).

Para concluir sobre el cálculo del ahorro posible de distancia recorrida por el obrero entre la antigua y la nueva disposición, constatamos que tenemos un ahorro medio en torno al 50% (véase la última línea de la tabla 15).

### 5.1.1.3 PLANIFICACION DE LOS RECURSOS NECESARIOS

En primer lugar, vamos a analizar los recursos monetarios necesarios para comprar nuevos equipamientos.

Como hemos visto antes, se ha incorporado una nueva máquina para realizar una tarea especial sobre el islote de rectificación. Se trata de un micro torno para hacer centros de precisión antes de rectificar (véase la figura siguiente). Actualmente tenemos un torno antiguo que hace esa tarea pero no es fiable. Para identificar los accesorios necesarios, he hablado con los operarios y con el personal del departamento de métodos. De acuerdo con el jefe del taller, decidimos que este nuevo torno sería incorporado a la nueva disposición del islote.

Coste del torno con el banco : 16750€

Coste de los accesorios : 6223€

Suma un total de 22973€



*Figura 52 : nuevo micro torno alta precisión  
Fuente : Schaublin (2014)*

Para la nueva disposición, decidimos implementar nuevos muebles y bancos. Además, se necesita un soporte metálico para un mármol de control que ya tenemos. Se trata del mármol para el equilibrado de ruedas. El coste del soporte es de 500€.

En la tabla siguiente vamos a ver los bancos y tablas necesarias. En la columna de izquierda hay una foto del elemento, y a la derecha las características correspondientes.

 <p><i>banco móvil</i></p>	<p><b>banco móvil</b> 1200*750*840 mm</p> <p>Función : banco de trabajo móvil para cada máquina del islote de rectificación</p> <p>cantidad :4 Precio : 11917€</p>
 <p><i>tabla movil</i></p>	<p><b>Tabla móvil</b> Dimensiones : 560*670*810</p> <p>cantidad : 1 (para las herramientas del equilibrado de las ruedas de la rectificación)</p> <p>Precio : 1038€</p>
 <p><i>armario informático</i></p>	<p><b>Armario informático</b> Dim : 830*500*1300</p> <p>Sustituir en los dos despachos de los islotes ( cantidad : 1)</p> <p>Precio : 1874€</p>
 <p><i>armorio para ruedas</i></p>	<p><b>Armario para las ruedas de rectificación</b> Dimension 800*1000*1400</p> <p>Precio : 2127 €</p>

*Tabla 16 : bancos y muebles necesarios para el islote de rectificación.*

*Fuente : elaboración propia.*

El total de los precios de los bancos, del micro torno y de los muebles representa 40071 euros.

A continuación, vamos a realizar el análisis de coste de las obras necesarias para desplazar los medios de producción y también para realizar la nueva área de control de calidad.

Para eso, he solicitado al departamento de “medios generales” que nos dio el presupuesto necesario para el movimiento de las máquinas.

Según este departamento, las entidades internas son capaces de realizar:

- La manutención de material del área de control mediante pago de 500€.
- La manutención de las máquinas mediante pago de 900€.
- La preparación antes de la manutención, configuración y nivelación del suelo mediante pago de 900€.

Empresas externas realizarán el establecimiento de las redes eléctricas, de información y de aspiración mediante pago de 6681€.

Así tenemos un total para la nueva disposición del islote de rectificación de 8981€.

También he pedido un presupuesto para el material y las obras necesarias para la realización de la nueva sala de control. Los pagos son los siguientes:

- Techo y 3 paredes : 2870 €.
- Suelo : 3684€.
- 1 pared con vidrio : 4380 €.
- Una puerta de acceso a la primera sala de control existente : 1200€.
- Electricidad : 4829€.
- Albañilería : 1100€ .

Lo que suma un total de 18064€.

Los costes necesarios para las obras de desplazamiento de los medios de producción y para realizar la nueva sala de control de calidad son de 27045 euros.

A continuación, vamos a valorar los tiempos necesarios para la realización de las obras vistas antes y los costes que se desprenden. Según el departamento de “medios generales”, se necesita un tiempo de 24 horas (repartidos en tres días) para el desplazamiento de los medios de producción. La instalación de los nuevos equipamientos llevará 2 días (16 horas), es decir que se necesita parar la producción del islote durante 5 días. Las obras de realización de la nueva sala de control tardarán 4 semanas. Pero nos da igual porque no se requiere parar la producción. Para estimar los costes que se desprenden, de acuerdo con el jefe del taller, hemos evaluado los costes de la manera siguiente:

Según el controlador de gestión de la línea de producción, una máquina produce 109 euros a la hora. Sabemos que sobre el islote de rectificación, se trabaja con 0.77 obrero/máquina.

Hay un obrero por turno de trabajo, es decir que un obrero hace funcionar  $1/0.77 = 1.30$  máquinas a la hora.

Es decir que el islote produce  $1.30 * 109 = 141.7$  euros / hora.

Parar el islote durante  $24 + 16 = 40$  horas, cuesta  $141.7 * 40 = 5668$  euros.

Finalmente, el presupuesto necesario para esa nueva implantación es de  $40071+27045+5668 = 72714$  euros.

Todas las mejoras vistas antes fueron discutidas con los obreros y con los supervisores.

Empecé esta fase de mejora a principios de Marzo y 1 mes después presenté la propuesta con la planificación a mi jefe que dio el visto bueno para presentarla ante la dirección, que, a su vez, es la encargada de aceptar el lanzamiento de las operaciones. La propuesta de planificación aparece recogida en el siguiente diagrama de Gantt. La denominación de las tareas numeradas de 1 a 11 se ven en detalle en la tabla siguiente.

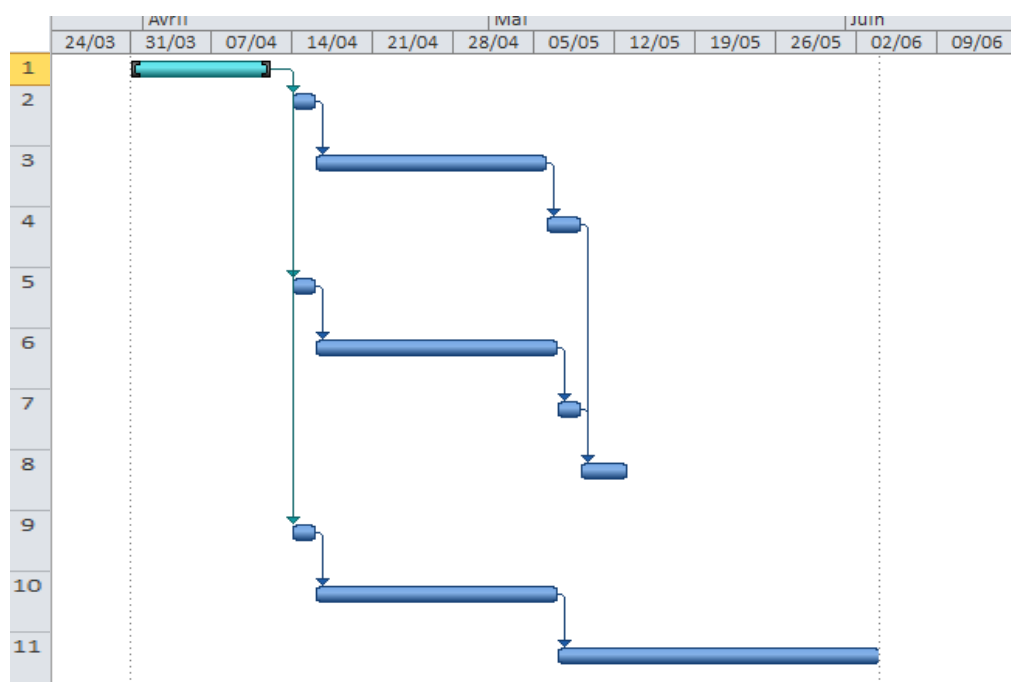


Figura 53 Diagrama de Gantt con la planificación de la propuesta de nuevo layout.

Fuente : elaboración propia

Nº tarea	Tarea	Durada (Días)	Inicio	Fin
1	Propuesta a la dirección	10	L31/03/14	V 11/04/14
2	Solicitud de la obras de desplazamiento	2	L 14/04/14	M 15/04/14
3	Preparación medios de producción a desplazar	14	X 16/04/14	L 05/05/14
4	desplazamiento de los medios de producción	3	M 06/05/14	J 08/05/14
5	Solicitud de equipamiento	2	L14/04/14	M 15/04/14
6	plazo de entrega de los equipamientos	15	X 16/04/14	M 06/05/14
7	entrega de los nuevos equipamientos	2	X 07/05/14	J 08/05/14
8	instalación de los equipamientos	2	V 09/05/14	L 12/05/14
9	Solicitud de la obras para la sala de control	2	L14/04/14	M 15/04/14
10	preparación material y medios para obras	15	X 16/04/14	M 06/05/14
11	obras para la sala de control	20	X 07/05/14	M 03/06/14

Tabla 17 : tareas relativas a la planificación de nuevo layout

Fuente : elaboración propia.

Como vemos en la tabla anterior y en el diagrama de Gantt, he supuesto un periodo de 15 días para que la dirección tome la decisión de aceptar o no la propuesta de solución (tarea 1). Después del acuerdo de la dirección he supuesto un periodo de 2 días para solicitar las obras y el equipamiento (tareas 2, 5 y 9). Hay un plazo de 15 días para recibir los nuevos equipamientos (tarea 6), dos días para entregarlos (tarea 7) y dos días para instalarlos (tarea 8). Para minimizar las paradas de producción en el islote, el desplazamiento de los medios de producción (tarea 4) debe acabarse justo antes del inicio de la instalación de los nuevos equipos (tarea 8), sabemos que se necesita 3 días para el desplazamiento, así deducimos el principio de las operaciones de desplazamiento. El tiempo máximo de preparación de esos medios de producción es de 14 días (tarea 3). Las obras para la sala de control pueden empezar en el mejor de los 15 días después de solicitar el permiso. Pero no importa porque podemos trabajar con el islote de la rectificación aunque la sala de control no esté acabada.

### 5.1.2 ACCIONES 5S

En este apartado, en primer lugar, veremos las diferentes acciones a realizar en el islote. A continuación, veremos los resultados que podemos alcanzar con ellas y después veremos los recursos necesarios y también un desarrollo posible de las acciones en el tiempo.

#### 5.1.2.1 ACCIONES A REALIZAR

Según el análisis hecho en el apartado 4.3.1, hemos deducido que implementar una filosofía 5S sería una buena solución. Antes de empezar las acciones vamos a tomar fotos para tener una visión general del islote.

En la figura 54 podemos ver el aspecto general de las máquinas. Se puede ver un poco el desorden y que la disposición de las máquinas no es óptima. Como hemos visto antes están en línea pero el obrero no puede pasar de una a otra sin atravesar el pasillo del taller (marcado con las líneas azules a la derecha de la foto).



*Figura 54: foto 1, aspecto general de una parte del islote de rectificación.*



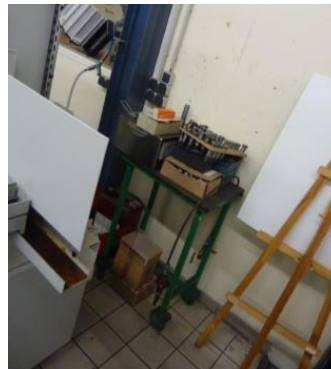
*Fuente: foto propia*

En las dos fotos siguientes, vemos dos ejemplos de desorden en el islote :



*Figura 55 : ejemplo desorden*

*Fuente : foto propia*



*figura 56 : ejemplo desorden 2*

*fuelle : foto propia*

En las dos fotos siguientes vemos el desorden en los cajones.



*Figura 57 : ejemplo desorden cajones 1*

*Fuente : foto propia*



*Figura 58 : Ejemplo desorden cajones 2*

*fuelle : foto propia*

En las siguientes fotos, se ve el desorden sobre un puesto de trabajo del islote, el “rodage”:



*Figura 59 : desorden sobre “rodage”, ejemplo 1*



*figura 60 : desorden sobre “rodage”, ejemplo 2*



*Fuente : foto propia*

En las siguientes fotos, vemos el desorden sobre la zona a dismantelar y a limpiar.



*Figura 61 : foto zona a dismantelar 1*

*Fuente : foto propia*



*figura 62 : foto zona a dismantelar 2*

*fuelle : foto propia*

De acuerdo con el jefe del taller y los supervisores, vamos a proceder de la manera siguiente:

Las acciones 5S deben realizarse con los obreros que trabajan sobre cada máquina. Además, hace falta que los obreros vengan durante un mismo turno para que las acciones se realicen con todas las personas implicadas.

En una primera fase, vamos a ordenar todo el islote. Es decir, vamos a centrarnos en cada una de las 5 máquinas y vamos a quitar todo lo que no sirve de los cajones de todos los muebles, y de las tablas y también vamos a quitar los muebles y las tablas que no sirven. Para quitar las herramientas de control y de fabricación que no sirven, es necesario tener la presencia, además de los obreros, del responsable de métodos del islote. En esta fase vamos también a ordenar el área a dismantelar situada detrás del islote.

En una segunda fase, vamos a clasificar los equipamientos. Es decir vamos a dejar cerca de cada máquina. Las herramientas relacionadas con esa máquina y no con otra. Si hay muchos muebles con muchas herramientas para una máquina, vamos a clasificar las herramientas en función de la frecuencia de uso. Vamos a poner etiquetas sobre los cajones para identificar fácilmente lo que hay dentro. Además, sería útil tener espuma sintética para clasificar las herramientas. Hace falta también redefinir las zonas de trabajo, de control y de aprovisionamientos con líneas sobre el suelo. Voy a encargarme de pedir a los departamentos implicados las herramientas de fabricación y de control que faltan.

En la tercera fase, la de la limpieza, se necesita contactar con la empresa que se encarga de la limpieza de la planta para que limpien el entorno de las máquinas y también de sus muebles, tablas y armarios. También se limpiará el área libre situada detrás del islote.

En la cuarta fase, vamos a fijar estándares. Es decir reglas de trabajo que deberán ser aplicadas por los obreros y controladas por los supervisores. Los superiores deben ayudar a los obreros a aplicar

esas reglas. Las reglas van a estar relacionadas con : la limpieza sistemática del puesto de trabajo, el mantenimiento preventivo (que debería ser registrado cada vez que se haya hecho), la utilización de las instrucciones de trabajo, quitar los documentos relativos a ordenes de fabricación que quedan en el puesto, decir cuándo falta un documento y prevenir a los supervisores cuando una herramienta o un medio de control está defectuoso o falta.

Para la “S” de la disciplina, vamos a implementar un tablón que los obreros y supervisores podrían rellenar con las acciones a llevar a cabo para solucionar los problemas encontrados durante la semana. Cada semana haremos una pequeña reunión de 10-20 minutos para ver si todo se está respetado y si hay problemas. Así los obreros se sentirán más implicados en el proyecto. Vamos también a implementar un nuevo tablón con los indicadores del islote.

#### 5.1.2.2 BENEFICIO ESPERADO DE LAS ACCIONES 5S

En este apartado, vamos a ver lo que podemos esperar de las 5S.

Como vimos en el apartado 4.2, la fase de medida nos mostró un ratio de satisfacción del 59% en la auditoría relativa a las 5 “M”. La fase de análisis nos ha conducido a las 5S para resolver parte de los problemas encontrados en la fase de medida y para alcanzar los objetivos definidos en la misma auditoría. Según el jefe del taller, nuestro objetivo es alcanzar un ratio de satisfacción del 100% y mantenerlo gracias a las acciones 5S descritas en el subapartado precedente (5.1.2.1).

#### 5.1.2.3 PLANIFICACION DE LAS ACCIONES

En un primer lugar vamos a planificar el presupuesto requerido para realizar las acciones 5S.

Se trata de la inversión que necesita realizar el taller para implantar las 5S. En este caso, se necesita prescindir de ciertas “horas” de trabajo de los operarios para dedicarlas a las actividades de las 5S. Para obtenerse estas horas, debe hacerse una solicitud al controlador de gestión de la línea de producción mecánica, que después sería sometida a evaluación por el director de PMEE (Producción Mecánica y Equipos Electromecánicos). Si la solicitud es aceptada, el controlador de gestión crea una cuenta de horas con la cual los operarios fichan. Así, se permite justificar el hecho de que ciertas piezas no hayan sido fabricadas durante el desarrollo de las actividades 5S. Para emitir la solicitud de horas, he cuantificado las horas necesitarías para cada actividad de las 5S con la ayuda de la persona responsable de las actividades lean en los otros talleres de la línea de producción.

La cuantificación se hace en función del número de máquinas que integran el islote y de la carga de producción a la que están sometidas sobre los puestos de trabajo. Sobre el islote de rectificación, no hay mucha carga de trabajo, de tal forma que se podían dedicar 4 horas por día a hacer actividades con los operarios. La estimación hecha para la solicitud de horas es para dar una idea al director pero

en realidad las horas dedicadas por día cambian cada día en función del trabajo necesario y de la carga de producción.

Vemos en la tabla siguiente el detalle de las etapas que componen el proyecto 5S y de las horas que corresponden a cada etapa. Se necesita 32 hora para realizar las acciones de orden y limpieza, 40 horas para la clasificación y el acondicionamiento de los puestos y 2 Horas para reunirse para fijar y controlar la aplicación de las reglas. Por ejemplo, cuando calculamos las 32 horas de la etapa nº1, consideramos que vamos a realizar 4 horas al día, durante 4 días, lo que hace 16 horas de 5S. Sin embargo son dos operarios (el del turno de la mañana y el del turno de la tarde) así, 16h de 5S con los dos operarios, representan  $16 \times 2 = 32$  horas de parada de producción sobre el islote. La suma de estas etapas hace un total de 74 horas.

<b>Perímetro del proyecto :</b>	Islote de rectificación : 5 máquinas, 1 operario al turno, 2 turnos al día	
<b>Nº etapa</b>	<b>tarea</b>	<b>Nº horas necesarias</b>
1	Lanzamiento de las acciones de orden y de limpieza 2 operarios, 4 horas /día, 4 días	32h
2	Tareas 5S, clasificación y acondicionamiento : 2 operarios, 4 horas/día, 5 días	40h
3	1 reunión por semana de 15 minutos durante las 4 primeras semanas después del lanzamiento de las acciones. 2 operarios, 1 supervisor	2h

*Tabla 18 : Solicitud de horas para acciones 5S en el islote de rectificación.*

*Fuente : elaboración propia*

Aplicando el mismo cálculo que en el apartado 5.1.1.3, calculamos los costes de la parada de producción a causa de las actividades 5S :

Según el controlador de gestión de la línea de producción, una máquina produce 109 euros /hora.

Sabemos que sobre el islote de rectificación, se trabaja con 0.77 obrero/máquina.

Hay un obrero por cada turno de trabajo (mañana y tarde), es decir que un obrero hace funcionar  $1/0.77 = 1.30$  máquinas/ hora.

Es decir que el islote produce  $1.30 \times 109 = 141.7$  euros /hora.

Parar el islote durante 74 horas, cuesta  $141.7 \times 74 = 10485$  euros.

El cambio de herramientas de fabricación y de los medios de control de calidad no está incluido en el presupuesto del proyecto porque el presupuesto dedicado a las herramientas y medios de control es independiente de los proyectos de mejora.

El presupuesto para las espumas sintéticas (para clasificar las herramientas dentro los cajones), representa 3200 euros.

Es decir que las actividades 5S representan un coste total de **13685 euros**.

A continuación, voy a mostrar la planificación de las actividades 5S. He empezado esa fase de mejora la tercera semana de febrero (el 17 de febrero) y dos semanas después, después del visto bueno de mi jefe, he sometido la propuesta de las acciones 5S son la aprobación por parte de la dirección. La planificación de estas acciones se muestra en el siguiente diagrama de Gantt. La denominación de las tareas numeradas de 1 a 12 se ve en detalle sobre la tabla siguiente.

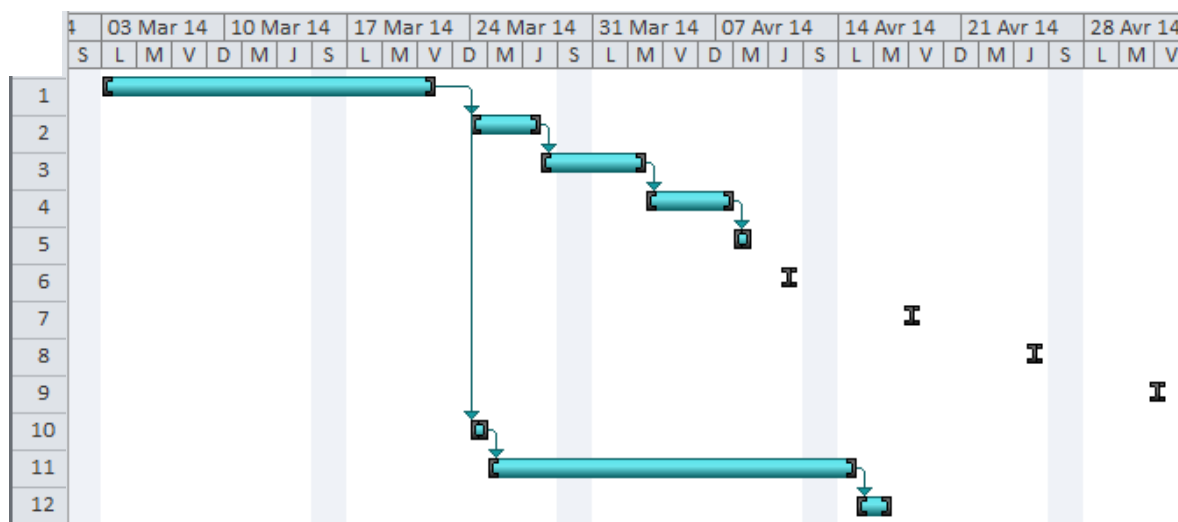


Figura 63 : diagrama de Gantt implementación 5S – islote rectificación

Fuente : elaboración propia.

Nº tarea	Fin	Tarea	Durada (Días)	Inicio
1	V21/03/14	Solicitud a la dirección	15	L 03/03/14
2	J 27/03/14	1S : ordenar	4	L 24/03/14
3	X 02/04/14	2S : clasificar	4	V 28/03/14
4	L 07/04/14	3S : limpiar	3	J03/04/14
5	M 08/04/14	4S : estandarizar	1	M 08/04/14
6	V 11/04/14	5S : reunión n°1	15 minutos	V 11/04/14
7	V 18/04/14	5S : reunión n°2	15 minutos	V 18/04/14
8	V 25/04/14	5S : reunión n°3	15 minutos	V25/04/14
9	V02/05/14	5S : reunión n°4	15 minutos	V02/05/14
10	L 24/03/14	Solicitud de espumas	1	L 24/03/14
11	L14/04/14	Plazo de recepción	15	M 25/03/14
12	X 16/04/14	Instalación de las espumas	2	M15/04/14

Tabla 19: tareas relativas a la planificación de las acciones 5S en el islote de rectificación.

Fuente: elaboración propia.

Como vemos en la tabla anterior he supuesto un periodo de 15 días para que la dirección estudie la propuesta y dé su acuerdo o no a la realización. Si aceptan, las tareas 2, 3, 4 y 5 se siguen durante casi tres semanas. Para planificarlas he utilizado los tiempos definidos en la tabla 18. Después hay una reunión todos los viernes durante 4 semanas desde el fin de la etapa 5 ( la cuarta S). En paralelo, las espumas sintéticas necesitan un plazo de 15 días para llegar después de haberlas pedido y estimo que se necesitan 2 días para instalarlas en los cajones.

En el capítulo siguiente, veremos los resultados de estas propuestas de mejoras. Veremos si hemos seguido la planificación prevista y si hemos conseguido implementar todas las soluciones previstas.

## 5.2 MEJORAS EN EL ISLOTE NH-SH

En este apartado vamos a tratar la fase de mejora de la metodología DMAIC aplicada al islote NH-SH. En un primer apartado trataremos el desarrollo de un islote extendido y en un segundo apartado, trataremos la aplicación de las 5 S. En un tercer apartado, veremos una solución para obtener las horas reales de funcionamiento del islote.

### 5.2.1 UN ISLOTE EXTENDIDO

En este subapartado, veremos la propuesta de islote extendido que puede ser una solución a los problemas del islote actual. A continuación, veremos los beneficios que podemos esperar de esa mejora y finalmente, veremos la planificación de los recursos necesarios para implementarla.

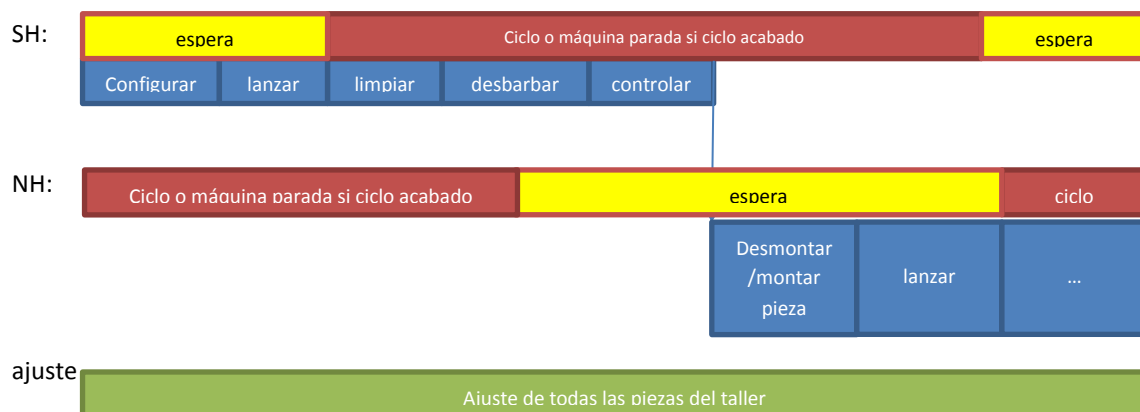
#### 5.2.1.1 PROPUESTA DE ISLOTE EXTENDIDO

Vamos, en primer lugar, a describir el islote extendido que queremos implementar. En un segundo lugar, vamos a ver cómo podríamos organizarlo. Es decir cómo podríamos repartir la carga de producción y los recursos humanos que son necesarios para el funcionamiento. En tercero lugar, veremos el layout que podríamos implementar para este islote extendido.

##### 5.2.1.1 .1 DESCRIPCIÓN DEL ISLOTE

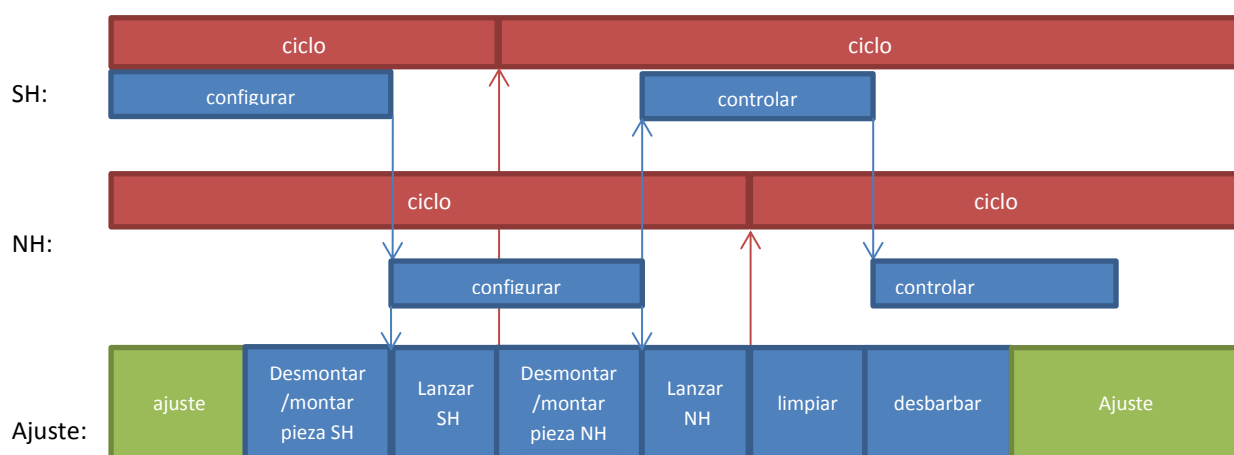
Se trata de un islote extendido con un puesto de ajuste (recordemos que la fase de ajuste es una fase que está después de la fase de mecanizado en NH o SH). Ahora queremos colocar un puesto de ajuste en el islote NH-SH con un obrero que ajusta únicamente las piezas que conciernen al NH-SH.

Desde el punto de vista de los operarios, este cambio introduce un transfer de tareas. La figura siguiente muestra cómo se desarrollan actualmente las etapas del proceso de producción entre el NH-SH y el puesto de ajuste (aquí los puestos de ajuste son independientes del islote NH-SH). Durante el ciclo del NH (marcado en rojo en la figura 64), el operario configura la máquina SH, lanza el ciclo, limpia la pieza mecanizada en SH, la desbarba y la controla (tareas marcadas en azul en la figura 64). Después, durante el ciclo de SH (marcado en rojo en la figura 64), el operario va al puesto NH, desmonta la pieza mecanizada, configura la máquina, la lanza y etc... (Tareas marcadas en azul en la figura 64). Si SH se para, el operario no puede relanzar la orden porque está trabajando con la otra máquina, lo que produce tiempo de espera (en amarillo en la figura 64). Los puestos de ajuste, independientes del islote NH-SH, trabajan en paralelo y ajustan todas las piezas del taller según un orden definido por el plan de producción.



*figura 64 : secuencia actual de las etapas en el islote NH-SH*  
*fuentes : elaboración propia*

Ahora, vamos a ver cómo quedaría el nuevo islote extendido (véase en la figura 65). El operario actual del NH y SH sólo configura las máquinas y controla las piezas (véase en azul en los bloques NH o SH de la figura 65). Durante este tiempo, el ajustador (trabajador añadido al incluir el puesto de ajuste dentro del NH-SH) desmonta las piezas de las tablas de mecanizado, lanza el ciclo, desbarba las piezas y ajusta piezas del NH o del SH (véase en azul y verde en el bloque ajuste de la figura 65). Este funcionamiento permite al antiguo obrero de NH-SH tener más tiempo para configurar bien la máquina para el ciclo siguiente (pues la configuración es una tarea difícil que observamos que daba problemas en la fase de medida). En este caso, no se necesita tiempo de espera entre el montaje de la nueva pieza y el lanzamiento de la máquina porque el antiguo operario de NH-SH puede configurar una tabla mientras que el nuevo ajustador trabaja con otra. El islote extendido permite dar más tiempo al antiguo obrero para tareas difíciles y limitar los tiempos de espera entre los ciclos de las máquinas.



*Figura 65: secuencia de las tareas de producción con un islote extendido en NH-SH*  
*Fuente: elaboración propia*



Gracias al islote extendido, las piezas son directamente ajustadas en el islote NH-SH. Los beneficios son la reducción de esperas y de transportes. Sin embargo tenemos piezas con diferentes secuencias:

- Las piezas mecanizadas ajustadas en NH-SH (véase el flujo en verde en la figura 66).
- Las piezas mecanizadas en NH-SH, mecanizadas en otro proceso después y finalmente ajustadas. (Veremos en el siguiente apartado si ajustáremos esas piezas en el islote extendido o no de ahí que los flujos marcados en naranja en la figura 66 vayan desde “otro proceso” al área de ajuste del NH-SH o al islote de ajuste situado fuera del NH-SH).
- las piezas que no son mecanizadas en NH-SH y que van directamente al islote de ajuste situado fuera del NH-SH (véase el flujo en negro en la figura 66).

Vemos los diferentes flujos de estas piezas en la figura 66.

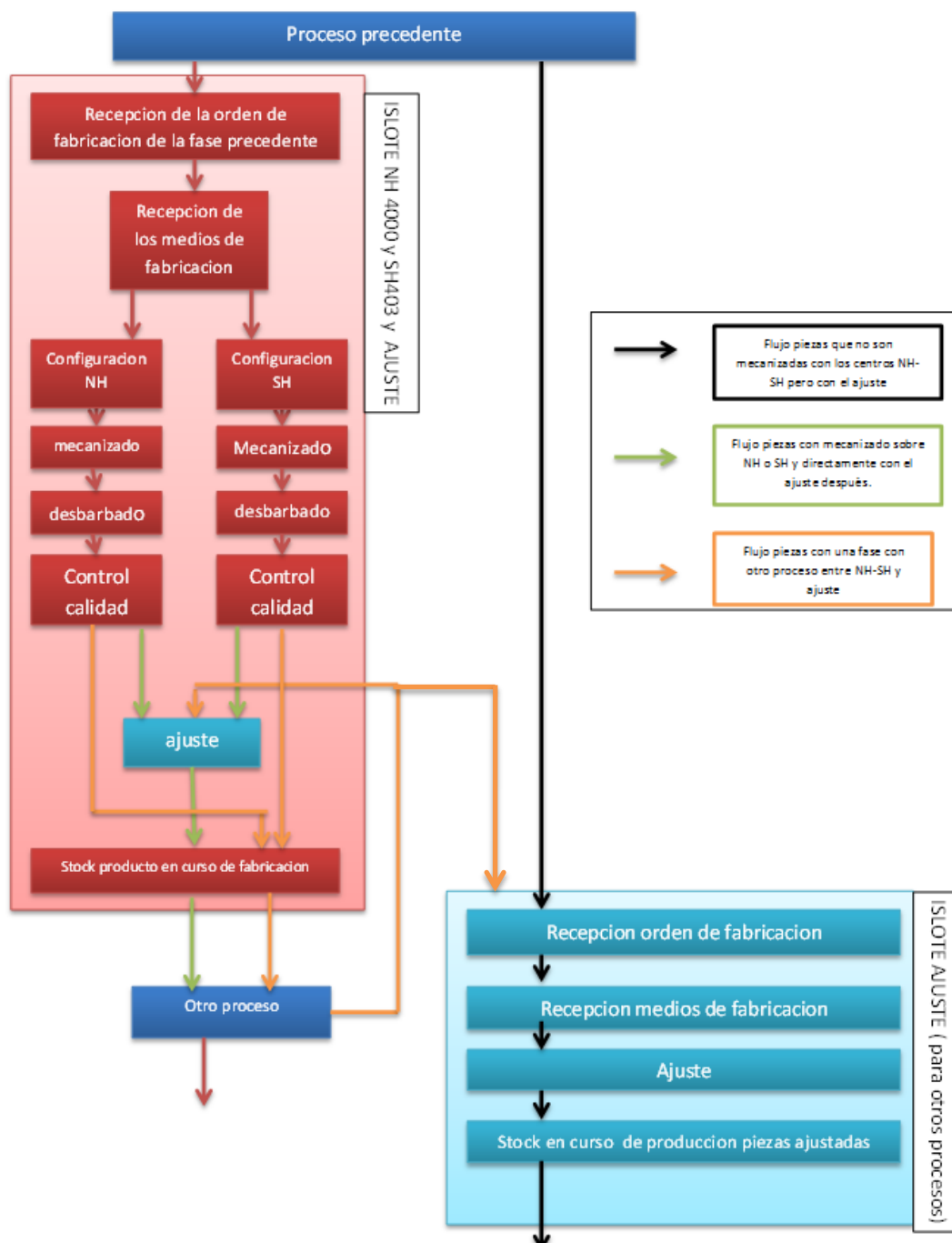


Figura 66 : propuesta proceso de producción del islote extendido

Fuente : elaboración propia

#### 5.2.1.1.2 ORGANIZACIÓN DEL ISLOTE: RECURSOS HUMANOS NECESARIOS Y PLAN DE PRODUCCIÓN

Ahora, vamos a ver cómo vamos a organizar el islote desde el punto de vista de los recursos humanos necesarios y de los planes de producción a realizar en los puestos de trabajo. Primero, vamos a analizar todos los tipos posibles de plan de producción que podemos implementar en este islote. Después, calcularemos todos esos planes de producción y veremos cuáles son los criterios para seleccionar el mejor (recursos humanos, índice obrero/máquina, sobrecarga,...). A continuación, calcularemos de los recursos humanos necesarios para cada plan de producción vistos antes y finalmente seleccionaremos el más adecuado.

##### A/ TIPOS POSIBLE DE PLAN DE PRODUCCION

Vamos a ver cómo podemos repartir la carga que está actualmente prevista en los puestos de trabajo del islote extendido (NH, SH y ajuste en NH-SH). Actualmente, con el islote de ajuste independiente del islote NH-SH, el islote de ajuste no tiene un plan de producción para cada puesto sino que tiene un plan general para todos sus puestos. El islote NH-SH tiene un plan de producción para cada centro. Ilustramos estos planes con la tabla siguiente que representa el plan de producción del islote NH-SH y del ajuste independiente del islote NH-SH. Las letras en azul representan productos mecanizados en NH-SH y ajustados fuera del islote NH-SH. Las letras en verde representan productos mecanizados sólo en ajuste y en rojo, aparecen los productos sólo mecanizados en NH-SH. Tenemos representado un plazo de 4 meses (del mes  $n$  hasta el mes  $n+3$ ).

	n	n+1	n+2	n+3
NH	A	X	Y	
SH	B		Z	
Ajuste fuera del NH-SH	C,D	E	B	A

Tabla 20: ejemplo de plan de producción actual

Fuente: elaboración propia

Vemos, en este ejemplo, que el producto A que será mecanizado en el mes  $n$  en NH, será mecanizado en el mes  $n+3$  en ajuste y que el producto B que será mecanizado en el mes  $n$  en SH, será mecanizado en el mes  $n+2$  en ajuste.

Para elaborar el plan de producción de nuestro islote extendido, tenemos tres posibilidades. La primera es conservar el plan de producción de NH-SH y construir el plan del puesto de ajuste del islote extendido extrayendo los datos del plan actual del islote de ajuste que está situado fuera del NH-SH. Por tanto, para el islote extendido, obtenemos el plan que vemos en la tabla siguiente. El puesto de ajuste del NH-SH tiene sólo piezas mecanizadas en SH o NH y las fechas de realización de las tareas no cambian respecto a lo visto en la tabla anterior

	n	n+1	n+2	n+3
NH	A	X	Y	
SH	B		Z	
Ajuste en NH-SH			B	A

Tabla 21: ejemplo 1 de plan de producción del islote extendido

Fuente: elaboración propia

La segunda posibilidad es construir el plan de producción del puesto de ajuste situado en el NH-SH mediante el plan de producción de NH-SH, considerando que las piezas son ajustadas inmediatamente después del mecanizado en NH o SH. Por lo tanto, obtenemos el plan de producción que vemos en la tabla siguiente.

	n	n+1	n+2	n+3
NH	A	X	Y	
SH	B		Z	
Ajuste en NH-SH	A, B			

Tabla 22: ejemplo 2 de plan de producción del islote extendido

Fuente: elaboración propia

La figura 67 ilustra cómo obtener este plan de producción. Extraemos el plan de producción de NH-SH de los artículos que también serían mecanizados en el ajuste de NH-SH gracias al plan general de NH-SH y a la lista de los artículos comunes entre el NH-SH y el ajuste. De esta misma manera, extraemos el plan de producción del ajuste situado fuera del islote NH-SH para los artículos que son mecanizados en NH-SH. Después, vamos a establecer para cada artículo mecanizado en el NH-SH y en ajuste, un ratio de carga:  $R_n$ . Este ratio indica para cada artículo, la carga prevista de este artículo en ajuste entre la carga prevista de este artículo en NH-SH. Para obtener el plan de producción del puesto de ajuste del islote extendido, tenemos que multiplicar cada línea del plan de producción del NH-SH (de los artículos mecanizados en NH-SH y ajuste) por el ratio  $R_n$ . Las salidas de este cálculo son el plan de producción del área del ajuste del islote extendido y el plan general de producción de NH-SH.

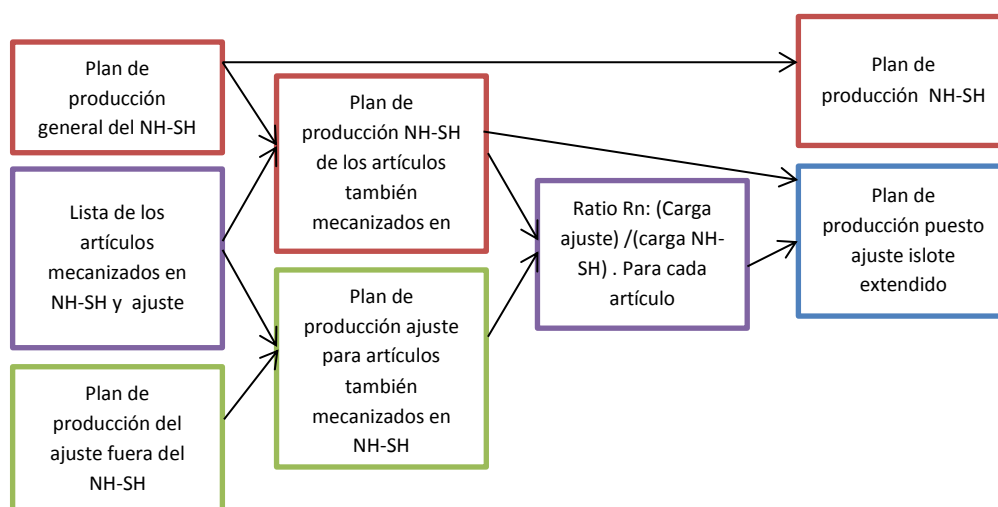


Figura 67: ilustración del cálculo de los planes de producción (caso2)

Fuente: elaboración propia

La tercera posibilidad es construir el plan de producción de NH y SH mediante el plan actual del puesto de ajuste situado fuera del NH-SH. De tal forma que obtenemos el plan de producción que vemos en la tabla 23. En este caso se supone que las piezas han sido mecanizadas en el NH o SH justo antes de ser ajustadas.

	n	n+1	n+2	n+3
NH		X	Y,A	
SH			Z	B
Ajuste dentro el NH-SH			A	B

Tabla 23: ejemplo 3 de plan de producción del islote extendido

Fuente: elaboración propia

La figura 68 ilustra cómo obtener este plan de producción. El principio de cálculo es similar al presentado en el caso precedente, con la diferencia de que ahora construimos un nuevo plan de producción sólo para algunos artículos de NH-SH. En efecto, vamos a construir un nuevo plan sólo para los artículos que son mecanizados en el ajuste después. Para el plan de producción final del NH-SH, habrá dos partes, una parte con los artículos que no tienen el ajuste en sus secuencias, y otra parte con los artículos que tienen el ajuste en sus secuencias. Para esta última parte, el cálculo, se desarrolla de la misma manera que antes, aunque esta vez a partir del ratio  $R_m$ , el ratio  $R_m$  indica la relación entre la carga de trabajo que representa un artículo en NH-SH y la carga que representa dicho artículo en el ajuste. Con este ratio y el plan de producción inicial de NH-SH deducimos la parte que cambia del plan de producción de NH-SH inicial. La planificación del puesto de ajuste para los artículos que pasan previamente por el NH-SH no cambia (se extrae del plan de producción general del puesto de ajuste situado fuera del NH-SH).

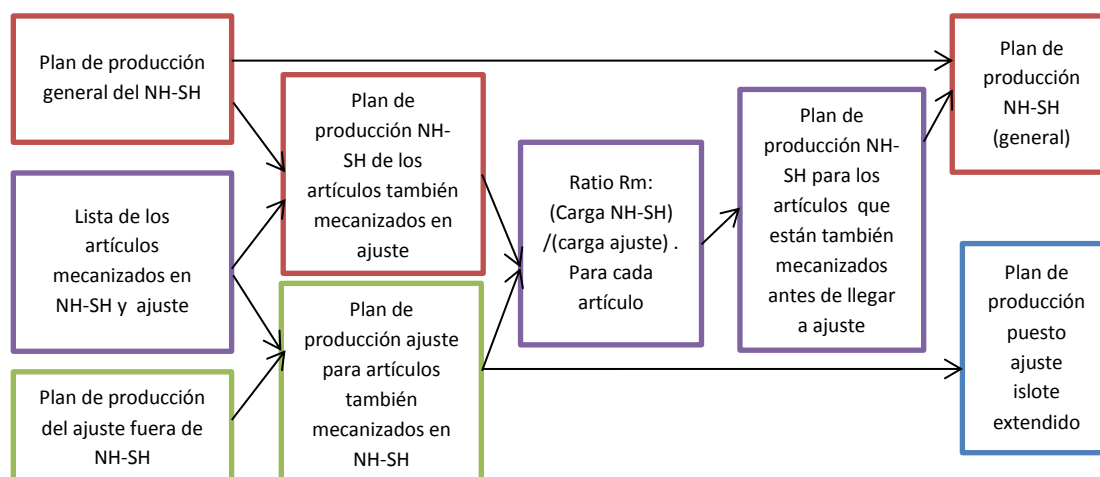


Figura 68: ilustración cálculo planes de producción (caso 3)

Fuente: elaboración propia

Para calcular todos estos planes de producción tenemos un dato común en los tres casos: la lista de los artículos que pasan por el NH o SH y por el puesto de ajuste. Para obtener esa lista, se necesita cruzar los planes de producción de NH-SH y del ajuste. Así, se puede ver los artículos en común.

Hemos visto en el apartado 5.2.1.1.1 (descripción del islote extendido) que tenemos dos flujos posibles para los artículos que tienen otro proceso programado entre el islote NH-SH y el ajuste. Podemos ajustarlos en el nuevo islote extendido o ajustarlos en el islote de ajuste fuera del islote NH-SH. Para determinar cuál de estos dos es el mejor flujo, tenemos, en un primer lugar, que fijar cuales son los artículos que se encuentran en esta casuística. Para ello, vamos a utilizar la lista de artículos que pasan por el NH o SH y por el puesto de ajuste y vamos a buscar con SAP la secuencia de fabricación para cada artículo de esta lista. Se puede observar en la tabla siguiente cinco tipos de secuencias:

<b>Tipo A</b>	NH-SH	Ajuste			
<b>Tipo B</b>	NH-SH	Otro proceso	Ajuste		
<b>Tipo C</b>	NH-SH	Otro proceso	NH-SH	Ajuste	
<b>Tipo D</b>	NH-SH	Ajuste	Otro proceso	Ajuste	
<b>Tipo E</b>	NH-SH	Otro proceso	ajuste	Otro proceso	ajuste

*Tabla 24: diferentes tipos de secuencias de los artículos que pasan sobre NH-SH y el ajuste*

*Fuente: elaboración propia*

He tomado la decisión agrupar estas secuencias en dos tipos principales:

- **El tipo 1:** que contiene los tipos A, D
- **El tipo 2:** que contiene los tipos B, C y E

El tipo 1 corresponde a las secuencias que tienen una fase de ajuste justo después de una fase de mecanizado en NH o SH.

El tipo 2 corresponde a las secuencias que tienen un proceso entre el mecanizado en SH-NH y el ajuste.

Tenemos que elegir si, además de las secuencias de tipo 1, tomamos en cuenta en el plan de producción del nuevo islote extendido los artículos del tipo 2 o no.

Según lo explicado hasta el momento, tenemos tres tipos de plan de producción posibles y dos flujos posibles para los artículos del tipo 2 (ajuste en el nuevo islote extendido o ajuste fuera del islote extendido). Por tanto, tenemos al final  $3 \times 2 = 6$  planes de producción posibles. A lo largo del estudio siguiente, vamos a fijar el mejor.

## B/ CALCULO DE TODOS LOS PLANES DE PRODUCCION POSIBLES

En este apartado, vamos calcular los 6 planes de producción posibles identificados en el apartado anterior. Para realizar los cálculos, he utilizado una hoja de cálculo Excel. Para sintetizar los resultados he construido una tabla utilizando la carga general de las máquinas. La carga general es la suma, para cada mes o año, de la carga que representan todos los artículos mecanizados en el medio de producción concernido. La tabla 25 muestra los resultados numéricos de los cálculos vistos en el apartado precedente para el corto plazo (desde abril de 2014 hasta diciembre de 2014) y el medio plazo (2015-2018). La primera columna recoge de los tipos de secuencia (1 ó 1 y 2) considerados en el cálculo del plan de producción. La segunda columna recoge de las tres posibilidades de plan de producción vistas antes. La tercera columna indica el puesto de trabajo o la parte del puesto de trabajo que se está considerado para el cálculo de las siguientes columnas (NH-SH, puesto de ajuste dentro el islote NH-SH). La columna retraso indica la carga que no fue producida en los meses precedentes. En las restantes columnas podemos ver el plan de producción calculado como vimos en el apartado precedente. El bloque en azul muestra los planes de producción que se obtienen si ajustamos los artículos de tipo 2 en el islote de ajuste situado fuera del islote NH-SH. El bloque verde muestra los planes de producción que se obtienen si ajustamos los artículos de tipo 2 dentro el islote NH-SH.

			retraso	04--2014	05--2014	06--2014	07--2014	08--2014	09--2014
Tipos secuencias	N° posibilidad plan de produccion	Puesto							
1	1	NH-SH	140	405	292	281	180	193	353
		Ajuste	125	111	136	114	27	101	80
	2	NH-SH	140	405	292	281	180	193	353
		Ajuste	63	149	160	94	93	96	94
	3	NH-SH	258	461	460	542	240	396	542
		Ajuste	125	111	136	114	27	101	80
1 y 2	1	NH-SH	203	447	344	344	288	280	557
		Ajuste	163	175	206	176	66	132	181
	2	NH-SH	203	447	344	344	288	280	557
		Ajuste	117	300	234	122	158	155	166
	3	NH-SH	287	519	436	632	160	393	547
		Ajuste	163	175	206	176	66	132	181
			10--2014	11--2014	12--2014	2015	2016	2017	2018
Tipos secuencias	N° posibilidad plan de produccion	Puesto							
1	1	NH-SH	303	202	226	2537	2970	2987	2431
		Ajuste	88	116	97	1022	1376	1207	934
	2	NH-SH	303	202	226	2537	2970	2987	2431
		Ajuste	185	136	103	1092	1430	1248	1002
	3	NH-SH	564	384	703	5592	6151	6925	4393
		Ajuste	88	116	97	1022	1376	1207	934
1 y 2	1	NH-SH	488	286	377	3534	4248	4560	3967
		Ajuste	176	161	154	1496	2218	2054	1708
	2	NH-SH	488	286	377	3534	4248	4560	3967
		Ajuste	321	171	162	2050	2744	2784	2359
	3	NH-SH	609	412	690	5354	5853	6595	4060
		Ajuste	176	161	154	1496	2218	2054	1708

Tabla 25: resultados numéricos de los diferentes planes de producción posibles.

Fuente: elaboración propia

Estos resultados serán utilizados en los siguientes apartados para, en primer lugar, determinar el número de obreros necesarios para cada una de las 6 combinaciones (no voy a aumentar el número de obreros en el taller, así voy a evaluar cuántos transferir desde la zona de ajuste situada fuera del islote NH-SH a la nueva zona de ajuste creada dentro de este islote). Como se verá en siguientes apartados, el número de operarios se calcula por prueba y error. De tal forma que se va iterando hasta alcanzar unos valores aceptables para 5 indicadores. A su vez, estos indicadores van a permitir, posteriormente, identificar cuál de los 6 planes es el mejor.

### C/ NECESIDAD DE CALCULAR LOS RECURSOS HUMANOS NECESARIOS Y CRITERIOS DE SELECCION DEL MEJOR PLAN DE PRODUCCION

En este subapartado, vamos a analizar cómo seleccionar el plan de producción más adecuado. De acuerdo con el jefe del taller, hemos decidido que nuestros criterios de selección serán los indicadores siguientes:

- La cantidad de horas de sobrecarga sobre los medios NH y SH (se intentará escoger el plan con menos horas de este tipo). Como hemos visto en el marco teórico de este documento, se trata de la sobrecarga debida a los defectos de eficiencia del sistema de producción.
- El tiempo en el cual las máquinas NH y SH deban funcionar en paralelo. Sabemos que si este tiempo es demasiado elevado, el obrero no va a alcanzar el objetivo, por tanto debemos escoger un plan con una cantidad razonable de este tipo de horas: 30% del turno del obrero, lo que representa 120 horas al mes. Esto está relacionado con el ratio obrero/máquina.
- El ratio obrero/máquina máximo para realizar la carga. El límite inferior es de 0.5 operario/máquina lo que representa 1 operario que hace funcionar las 2 máquinas que tenemos durante todo su tiempo de trabajo.
- El tiempo “libre” disponible del obrero del puesto de ajuste situado dentro el islote NH-SH para realizar las tareas (como configuración) sobre los NH y SH. Por tanto, se necesita escoger el plan con muchas horas de este tipo.
- La sobrecarga al puesto de ajuste situado dentro el islote NH-SH (para ver si el plan de producción es realizable).

Para obtener estos criterios, se necesita conocer el número de obreros necesarios para satisfacer el plan de producción del puesto de ajuste del islote extendido. Sabemos que no vamos a aumentar o reducir el número de obreros del NH-SH (de acuerdo con lo establecido por el jefe del taller). Entonces, lo que queremos saber es el número de obreros que vamos a transferir del islote de ajuste situado fuera del islote NH-SH al islote extendido. Vamos a construir una herramienta informática para determinar el número de recursos necesarios. La figura siguiente nos muestra lo que vamos a obtener con esa herramienta (véase salidas de nivel 1 y de nivel 2).



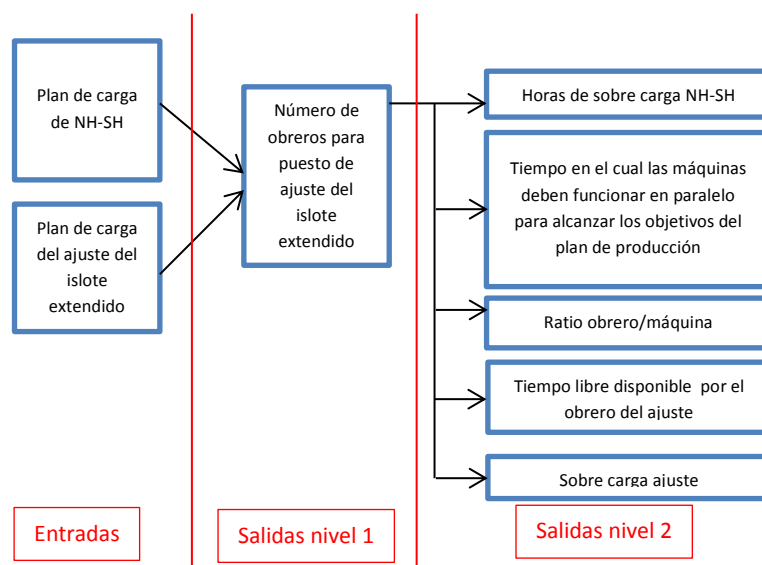


Figura 69: criterios de selección del mejor plan de producción

Fuente: elaboración propia

#### D/ CALCULO DE LOS RECURSOS NECESARIOS

Para el cálculo de los recursos humanos necesarios, vamos a ver una herramienta informática que he construido. A continuación, veremos un ejemplo de utilización de esa herramienta y por último veremos el algoritmo para seleccionar el número de recursos óptimo.

##### I. HERRAMIENTA INFORMÁTICA

Para obtener las salidas de nivel 1 y 2 indicadas en la figura precedente, vamos a utilizar una herramienta informática.

El primer objetivo es calcular el número de operarios para que proporcionen valores razonables de los criterios vistos anteriormente. Para ello, hay que tener en cuenta la eficiencia real de los medios de producción y hay que aplicar el procedimiento visto en el apartado 3.7, donde había que calcular múltiples fórmulas. Por ejemplo :  $CP2_{real}(n) = (CP2(n) / TRS2) * (1 - \%art) + RP2(n)$ ,  $CP2_{real}(n)$  es la carga real en el puesto P2 en el mes n (teniendo en cuenta la eficiencia real del puesto),  $CP2$  es la carga prevista en el plan de producción,  $TRS2$  es el rendimiento del puesto2,  $\%art$  es el porcentaje de artículos no producidos por el puesto P1 (P1 está antes del puesto P2 en la secuencia de mecanizado) y  $RP2(n)$  es retraso de carga tomado debido al rendimiento del puesto P2 en el mes n-1.

Como es un proceso muy intensivo en cálculos y hay que realizarlo para todos los planes, se ha creado un Excel para automatizar el proceso de cálculo. Los datos de entrada al Excel son los planes de producción previstos en el NH, SH y ajuste, los ratios de eficiencia, de calidad y la disponibilidad operacional de cada puesto de trabajo, la capacidad (en horas) de un obrero, y el número de obreros

(que se irá de ajustando de forma iterativa). El Excel tiene preprogramadas fórmulas como las variaciones de cargas cuando se incluye el rendimiento real de los puestos, las sobrecargas en cada puesto, el porcentaje de artículos que no están aprovisionados en ajuste a causa del retraso de NH y SH... El anexo situado al final de este documento recoge con más detalle las fórmulas programadas en este Excel. Al final devuelve, como se ha comentado anteriormente, el valor de los criterios definidos en apartado anterior. Si estos valores no son adecuados, se reajusta el número de operarios hasta encontrar un escenario adecuado.

El segundo objetivo del Excel es, una vez determinado el número de operarios adecuado, recabar el valor de los criterios vistos en apartados anteriores para cada plan con el objetivo de poder compararlos y así determinar cuál es el mejor.

## II. EJEMPLO DE LA UTILIZACION DE LA HERRAMIENTA

El objetivo de este subapartado es mostrar mediante un ejemplo cómo se usa la herramienta informática. Metemos los planes de carga de NH-SH calculados en el apartado B (véase el recuadro 1 en la figura 70) y los rendimientos reales de esos medios de producción (véase el recuadro 2 de la figura 70). Metemos también la capacidad de un operario y el número de operarios dedicado a los centros NH y SH (véase el recuadro 3 en la figura 70). Hacemos lo mismo con el puesto de ajuste (véase figura 71). La hoja de cálculo permite obtener los criterios vistos en el apartado C/ de forma automática (véase el recuadro 4 en la figura 70 y el recuadro 5 en la figura 71).

NH-SH

2

	NH	SH
TP/TA	1.07	1.19
TQ	0.96	1
DO	1	1
TRS	0.89719626	0.84033613

3

Capacidad operario	133
Número operarios	3

1

	Retraso	201404	201405	201406	201407	201408	201409	201410
NH	99	284	302	240	160	214	403	291
SH	105	254	124	252	203	157	195	352
Nh(TRS )	110	449	386	268	179	239	450	375
SH (TRS)	125	441	190	300	242	187	232	419
Capacidad un operario/mes	133	133	133	133	133	133	133	133
Capacidad operario total en NH-SH	399	399	399	399	399	399	399	399
Carga total NH-SH (incluido TRS)	235	890	576	568	421	426	682	794
Sobrecarga NH	132	50	0	0	0	0	51	0
Sobrecarga SH	139	42	0	0	0	0	0	20
Variación de carga								
variacion de carga + TRS	0	0	0	0	0	0	0	0
Variación en NH	0	0	0	0	0	0	0	0
Tiempo que NH puede trabajar solo	0	0	209	99	157	212	167	0
Tiempo que Sh puede trabajar solo	0	0	13	131	220	160	0	24
Tiempo libre del obrero de NH-SH	164	0	0	0	0	0	0	0
Variación en SH	0	0	0	0	0	0	0	0
ratio obrero / máquina querido por parte de la dirección	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77
ratio teorico obrero / máquina ( sin incluir los rendimientos)	1.96	0.74	0.94	0.81	1.10	1.07	0.67	0.62
ratio real obrero / máquina ( incluyendo rendimientos) a tener	1.70	0.45	0.69	0.70	0.95	0.94	0.59	0.50
Tiempo con el cual NH y SH funcionan juntas	0	399	177	169	22	27	232	375

Figura 70 : ejemplo hoja de la herramienta informática – NH-SH

Fuente: elaboración propia

NH-SH

	Ajuste
TP/TA	1.6
TQ	1
DO	1
TRS	0.625

Capacidad operario	133
Número operarios	2

	Retraso	201404	201405	201406	201407	201408	201409	201410	201411
Ajuste	163	175	206	176	66	132	181	176	161
NH (TRS )	109.92	448.70	386.30	267.64	178.82	239.03	449.56	375.03	306.51
SH (TRS)	124.76	441.47	190.03	299.88	242.14	186.95	232.32	419.03	137.84
total NH-SH (TRS)	234.68	890.17	576.34	567.52	420.96	425.98	681.88	794.07	444.36
Sobrecarga NH	132.00	49.70	0.00	0.00	0.00	0.00	50.56	0.00	0.00
Sobrecarga SH	139.00	42.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20.03	0.00
% art artículos no aprovisionados en ajuste	1.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.03	0.00
Carga ajuste (incluyendo % art)	163	320	295	221	66	132	168	185	165
Carga ajuste (incluyendo rendimientos del ajuste)	261	512	471	354	106	211	268	296	265
capacidad obrero total en el mes		399	399	399	399	399	399	399	399
total Sobrecarga NH-SH	271.00	92.17	0.00	0.00	0.00	0.00	50.56	20.03	0.00
Sobrecarga ajuste		112.807696	72.4	0	0	0	0	0	0
Tiempo libre ajustador		0.0	0.0	45.0	293.4	187.8	130.9	103.0	134.3

5

Figura 71 : ejemplo hoja de cálculo criterios – ajuste  
Fuente : elaboración propia

Esta herramienta permite evaluar la influencia de los rendimientos y del número de recursos sobre la carga de trabajo gracias a gráficos. Se trata de una herramienta que puede ser utilizada por el jefe de producción para ver si la carga y los recursos son adecuados según los rendimientos

En la figura siguiente, vemos un ejemplo de los gráficos que obtenemos con la herramienta. Se trata de la carga del NH-SH entre los meses de abril y octubre. El rojo muestra la carga que debe realizarse con las dos máquinas en funcionamiento. Es decir que en el mes de abril, el SH debe trabajar 400 horas y el NH también. El azul muestra el tiempo que el NH puede trabajar solo y el verde el tiempo que el SH puede trabajar solo. Por ejemplo, en el mes de mayo (en la figura siguiente), el NH tiene una carga de 370 horas y el SH de 190 horas. Para producir esta carga, el operario deber hacer funcionar las dos máquinas en paralelo durante al menos 180 horas (barras en rojo). Por tanto, en este mes se debería poner a otra persona en paralelo para aumentar el rendimiento del medio de producción. Sin embargo, no podemos poner o quitar a una persona mes a mes, debemos analizar una media sobre todos los meses del plazo. Si un gráfico presenta todos los meses en rojo, hay una sobrecarga que se repite mes a mes.

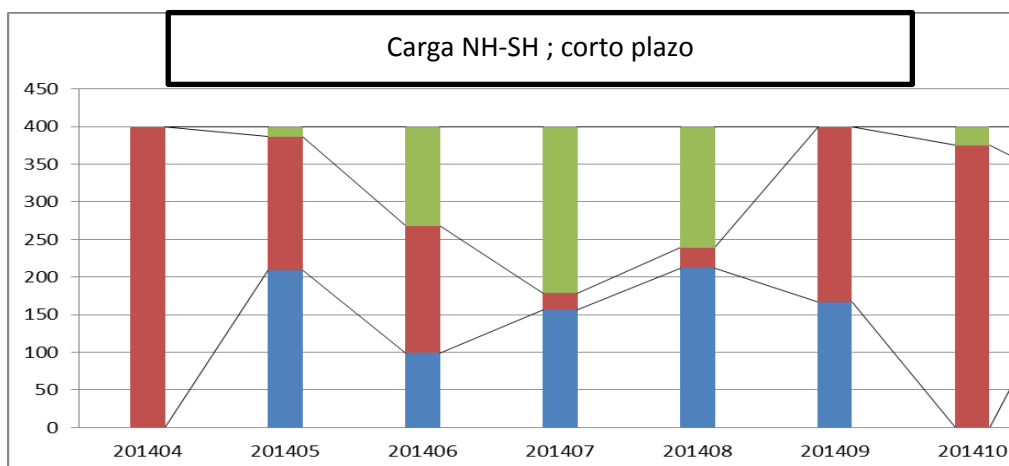


Figura 72 : ejemplo gráfico de la carga mes a mes para el islote.

Fuente : elaboración propia

Hay otro tipo de gráfico que obtenemos con la herramienta: el que representa el índice mensual obrero/máquina previsto para NH y SH (véase el ejemplo en la figura 73). La curva en rojo representa el ratio que debemos tener para producir la carga prevista sin tener en cuenta los rendimientos reales. En azul, el ratio que debemos tener para realizar la carga prevista teniendo en cuenta los rendimientos reales y en verde, lo que quiere el jefe de la línea.

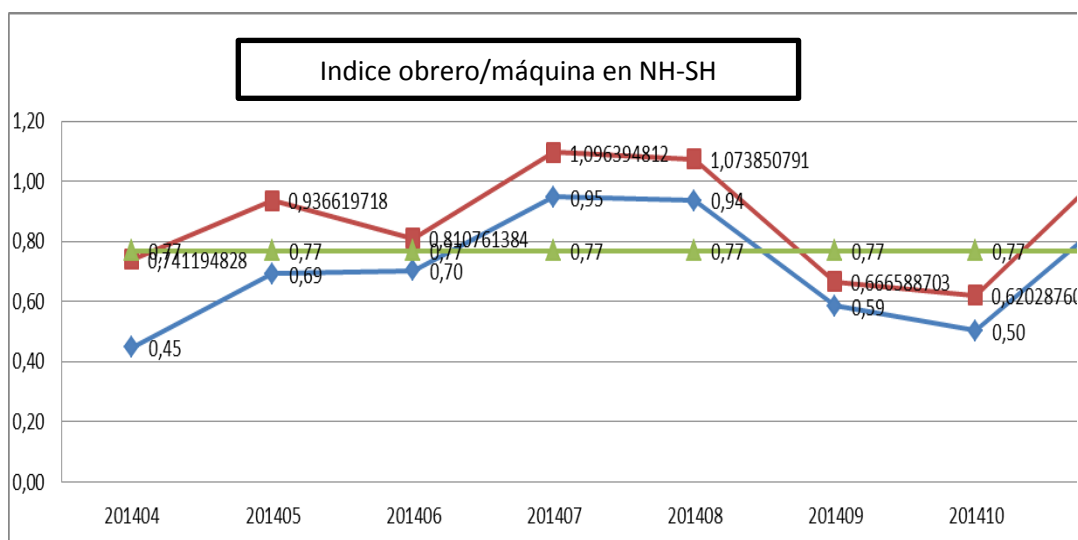
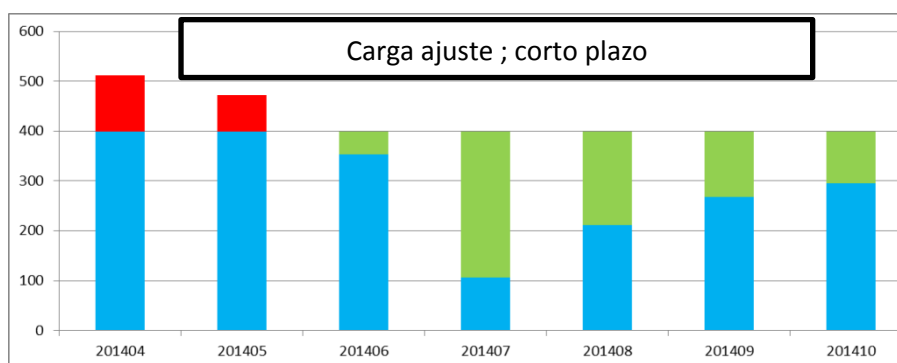


Figura 73 : ejemplo grafico índice obrero/máquina.

Fuente: elaboración propia

Este ejemplo nos muestra que el índice cambia de mes a mes. Y que es difícil tener exactamente lo que quiere la dirección. Deberíamos cambiar el número de obreros del puesto de ajuste para que la curva roja se acerque a de la curva verde.

Además, obtenemos el mismo tipo de gráfico que en la figura 72 pero para el puesto de ajuste del islote extendido (véase figura 74). En rojo vemos la sobrecarga, indica que hay una carga superior a la capacidad prevista. Tenemos en cuenta que lo que no es producido en el mes  $n$ , va a ser producido en el mes  $n+1$ . El azul muestra el tiempo ocupado en ajustar. Lo rojo en abril ha pasado a ser azul en mayo. En verde, vemos el tiempo “libre” del obrero que ajusta en el islote extendido para hacer tareas en NH y SH. Es decir que si no hay verde cuando hacemos la simulación, el islote extendido no puede funcionar ya que el obrero no puede realizar partes de las tareas que tiene asignadas.



*Figura 74 : ejemplo grafico carga ajuste del islote extendido*

*Fuente : elaboración propia*

Este ejemplo nos muestra que los primeros meses serian difíciles pero que la carga en los meses siguientes se produce y que el obrero tiene tiempo libre para realizar otras tareas en los centros NH y SH.

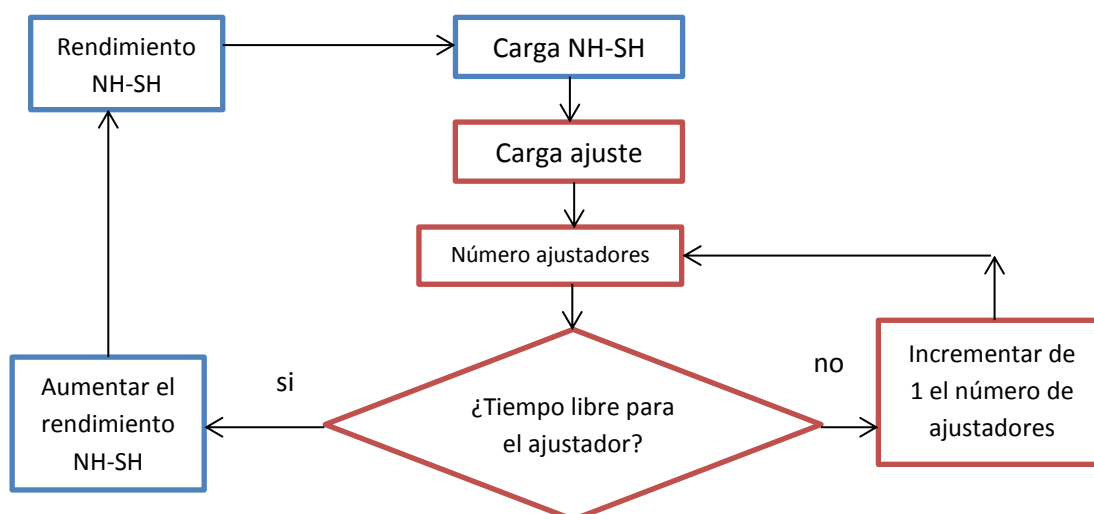
### III. ALGORITMO DE SELECCION DEL NUMERO DE RECURSOS

Ahora que tenemos una herramienta que permite ver cómo se produce la carga en función de los recursos y del rendimiento, debemos obtener el número de recursos humanos óptimo para el puesto de ajuste del islote extendido.

El objetivo de este islote extendido es reducir las paradas de máquinas y mejorar el rendimiento de los medios de producción. Así, si queremos que este islote extendido sea eficiente, debemos obtener tiempo libre para que el obrero del puesto de ajuste puede hacer tareas sobre NH o SH. Si el obrero tiene tiempo libre, podemos aumentar el rendimiento de NH y SH.

Así, podemos buscar el número de recursos humanos según el flujograma siguiente:

En primer lugar, en la herramienta informática vista antes, metemos las cargas de NH-SH y del ajuste y los rendimientos de todos los puestos de trabajo. Metemos un número de ajustadores y miramos si tiene tiempo “libre” como hemos vistos con la figura del apartado precedente. Si la repuesta es no, tenemos que incrementar en uno el número de ajustadores. Si los ajustadores tienen tiempos libre podemos aumentar el rendimiento de NH-SH. Podemos aumentar este hasta los valores de los objetivos fijados en el capítulo precedente.



*Figura 75: flujograma selección número operarios  
Fuente: elaboración propia*

## E/ SELECCION DEL MEJOR PLAN DE PRODUCCION

En este subapartado, para cada plan de producción visto en el subapartado B/, vamos a utilizar nuestra herramienta informática y nuestro algoritmo visto antes para determinar el número de recursos necesarios y todos los criterios de selección vistos en el apartado C/. La tabla 27 es una síntesis de los resultados obtenidos tras realizar este proceso, los valores en las columnas 4, 5 y 6 son las medias de los valores obtenidos para cada mes y año. La última columna nos indica el ratio entre el tiempo libre del ajustador y su capacidad de trabajo.



Tipo de secuencia	N° posibilidad plan de producción	número obreros en el puesto de ajuste del islote extendido	tiempo en el cual NH y SH deben funcionar en paralelo	ratio obreros/máquina	media sobrecarga en el puesto de ajuste (al mes)	tiempo libre puesto ajuste del islote extendido (al mes)
Tipo 1	1	1	282	0.54	120	0
		2	148	0.71	2.73	110
	2	1	282	0.54	172	0
		2	148	0.71	2.54	99
	3	1	269	0.58	121	0
		2	137	0.77	3.05	110
Tipo 1 y 2	1	2	277	0.54	11.36	46
		3	148	0.71	3.22	144
	2	2	282	0.54	46.7	0
		3	148	0.71	3.24	144
	3	2	242	0.56	47	11
		3	151	0.85	3.36	163

Tabla 26: síntesis resultados criterios de selección del plan de producción adecuado.

Fuente : elaboración propia

Ahora, vamos a seleccionar el mejor plan de producción. Cuando observamos los resultados, podemos ver que hay 5 casos en los cuales el obrero del puesto de ajuste no tiene, o casi no tiene, tiempo libre para hacer otras tareas distintas que el ajuste, por tanto podemos eliminar estas posibilidades (marcado en azul en la tabla anterior).

Si queremos ajustar los artículos cuya secuencia es de tipo 2 y si queremos ratios obrero/máquina interesantes (superiores a 0.5, ver en rojo) necesitamos al mínimo 3 obreros en el puesto de ajuste, lo que es demasiado. En efecto, el jefe de la línea de producción no quiere asignar más de dos obreros en este puesto porque no quiere dejar desprovistos los puestos del islote de ajuste situado fuera del islote NH-SH. Por tanto, podemos eliminar todos los planes de producción que tienen en cuenta los artículos con una secuencia de tipo 2.

Nos quedan tres posibilidades de planes y cada uno necesita 2 obreros. Podemos eliminar el que la cantidad de tiempo libre más baja puesto que queremos optimizar el tiempo libre del obrero del ajuste. Por tanto eliminamos la posibilidad marcada en verde en la tabla.

Las dos posibilidades restantes tienen casi los mismos resultados. La ventaja de la que utiliza tipo de secuencia =1, posibilidad de plan = 3 y n° de operarios =2, es que tiene un ratio medio obrero/máquina exactamente igual a lo que quiere el jefe de la línea de producción (0.77).

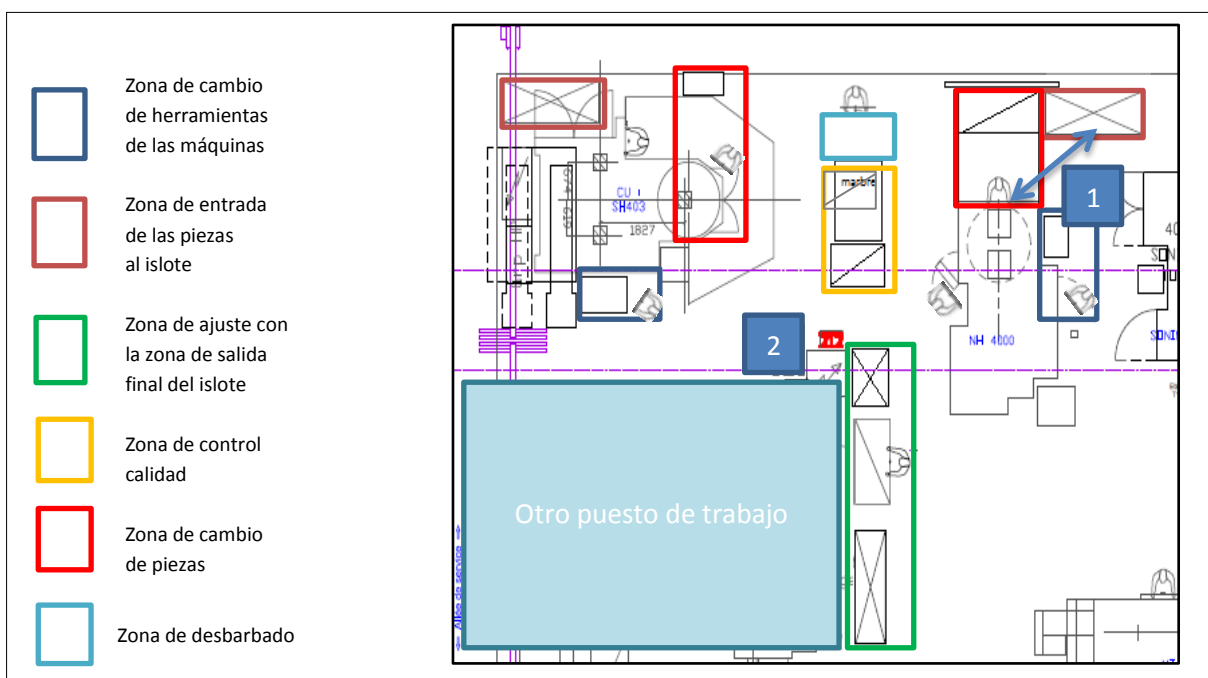
Hemos decidido con el jefe del taller tomar la posibilidad que utiliza tipo de secuencia =1, posibilidad de plan = 3 y n° de operarios =2 porque es la solución que más se aproxima a lo que se busca en una producción. En efecto, esta solución permite reducir el stock en curso de producción porque hemos construido el plan de producción adaptando el plan de producción del NH-SH al plan de producción del ajuste que es el proceso que más cerca está del cliente final.

Para concluir, el número de operarios final es 2, así el reparto de tareas será el comentado anteriormente en la figura 65.

### 5.2.1.1.3 LAYOUT DEL ISLOTE EXTENDIDO

Tenemos el plan de producción que vamos a aplicar sobre los puestos NH, SH y ajuste del islote extendido y sabemos cuántos operarios vamos a asignar al puesto de ajuste situado en el islote. En este punto, nos queda por saber cómo vamos a integrar físicamente el puesto de ajuste en el islote. Por tanto, vamos a proponer un nuevo layout que va a integrar este nuevo puesto y además, va a permitir mejorar la disposición actual del islote NH-SH. En este proyecto, no podían mover las máquinas SH403 y NH4000. Es decir hacía falta integrar el nuevo puesto de ajuste dentro del islote existente. Las modificaciones son las siguientes :

- Abrir la zona de trabajo del puesto NH4000 para que el obrero tenga acceso directo a la zona de entrada de las piezas (flecha nº 1 en la figura siguiente).
- Poner zonas con mesas de trabajo y con las herramientas de mantenimiento para cambiar las herramientas de mecanizado de las máquinas durante el funcionamiento. Esa tarea se hace detrás las máquinas. Existe una zona por máquina (zonas en azul oscuro).
- Poner las herramientas de control de calidad cerca de la mesa de control y hacer una zona común de control para el islote (zona amarilla).
- Agrupar las herramientas necesarias para las máquinas cerca de las máquinas.
- Ahora hay dos puestos informáticos: uno para los programas de las máquinas y el otro para el control calidad. En la nueva disposición, vamos a disponer sólo de un puesto informático que va a tener las dos funciones ( marcado como 2 sobre la figura).
- Vamos a implantar el nuevo puesto de ajuste de manera que no haya flujos de piezas que se crucen y de manera que el obrero del ajuste pueda acceder fácilmente a las máquinas (marcado en verde sobre la figura).
- La zona enmarcada en rojo representa la zona donde se cambian las piezas.
- La zona enmarcada en azul claro corresponde al puesto donde se desbarban las piezas (tarea del ajustador).



*Figura 76 : propuesta de nueva disposición del islote extendido.*

*Fuente : elaboración propia*

A continuación, vemos los flujos de las piezas sobre el islote. Los flujos de piezas no se cruzan. Las piezas pasan por SH o NH, son desbarbadas, controladas y van a la zona de entrada del ajuste. El flujo azul representa el trayecto seguido por las piezas mecanizadas en el NH, en verde las que son mecanizadas en el SH. Estos dos flujos se agrupan en la zona de entrada del puesto de ajuste del islote extendido. El flujo rojo muestra el trayecto de las piezas que pasan por el puesto de ajuste. Todas las piezas que no necesitan ajuste y que son mecanizadas en el NH o SH, van directamente a la zona de salida, que es la misma zona de salida que la del puesto de ajuste.

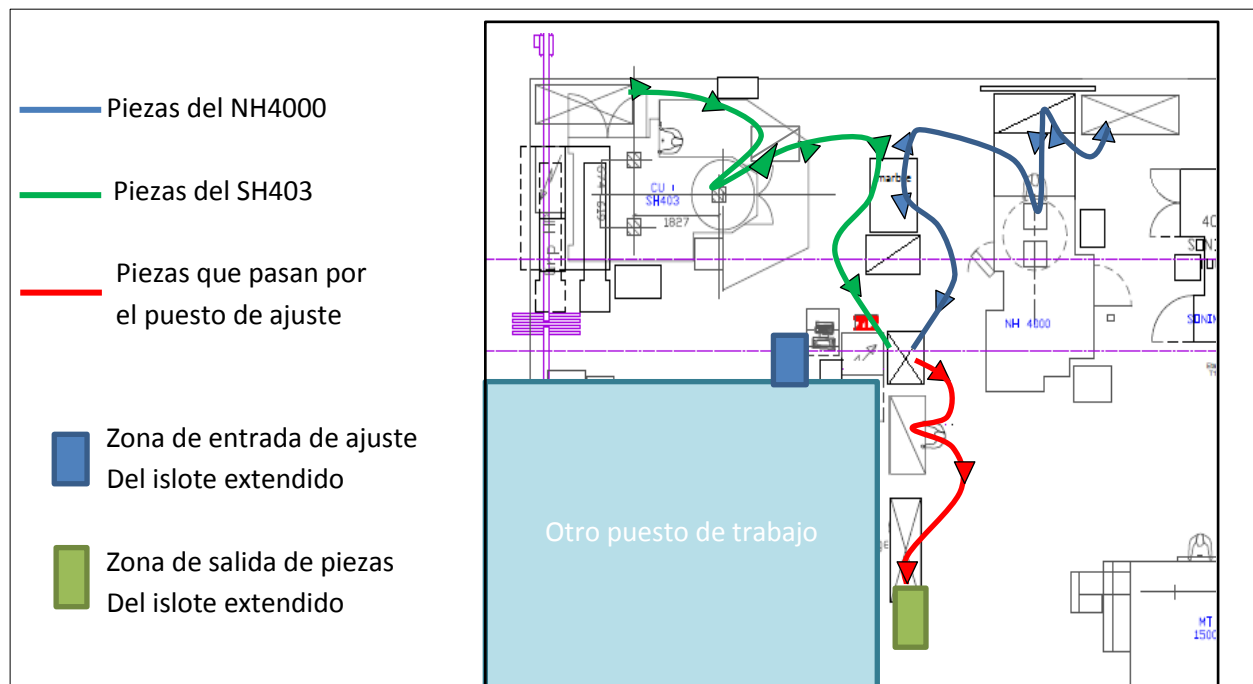


Figura 77 : flujos de las piezas sobre el islote extendido

Fuente : elaboración propia

A continuación, vemos los flujos de los operadores sobre el islote.

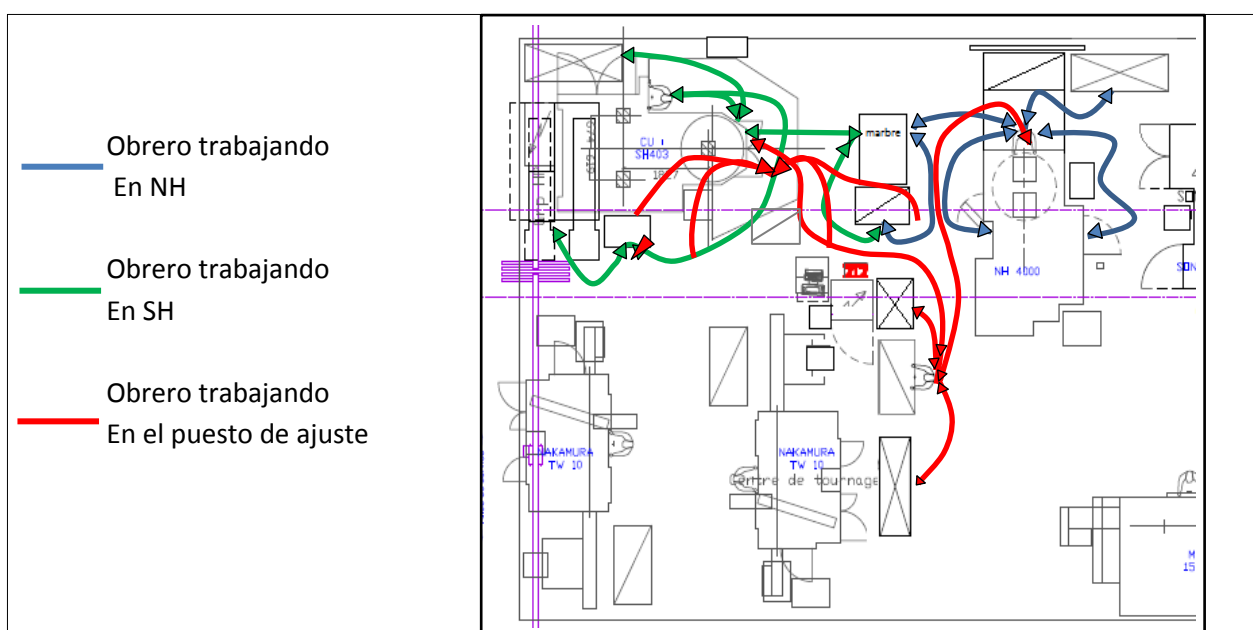


Figura 78 : flujos operarios sobre el islote extendido

Fuente : elaboración propia

Los flujos azules representan el trayecto del obrero que trabaja en el NH y los verdes representan los flujos del obrero cuando trabaja en SH. Los flujos rojos representan los trayectos efectuados por el ajustador cuando trabaja en su puesto pero también cuando se mueve entre los centros NH y SH y el puesto de desbarbado.

Podemos observar que hay como tres zonas bien definidas, la zona del SH, la del NH y la del puesto de ajuste. Cuando un obrero trabaja sobre el NH (por ejemplo) tiene todos los medios necesarios cerca de su puesto, no necesita salir de la zona. Además, la zona de control calidad está en el centro para compartirla entre el NH y el SH.

#### 5.2.1.2 BENEFICIOS ESPERADOS

En este apartado, vamos a evaluar los beneficios que podemos esperar de esta solución.

Si recordamos el apartado de la fase de medida y el subapartado de los flujos de piezas y del obrero (4.2.2.2), sabemos que actualmente, una pieza mecanizada en el NH4000, recorre una distancia de 21m hasta llegar al puesto de ajuste y una pieza mecanizada en el SH403 recorre una distancia de 16m hasta el puesto de ajuste.

Para la propuesta de layout del islote extendido, evaluamos las distancias recorridas midiendo distancias en el plano. En este caso, una pieza mecanizada en el NH recorre 18m hasta el puesto de ajuste (ahorro del 14% de distancia recorrida) mientras que una pieza mecanizada en el SH recorre 16 metros (no hay ahorro).

El análisis realizado en el capítulo 4 nos mostró un tiempo elevado para el stock en curso de producción entre el islote NH-SH inicial y los puestos de ajuste situados fuera de éste (una media de 144 horas). Con esta nueva solución, podemos reducir el tiempo de espera entre la fase de mecanizado en NH o SH y la fase de ajuste a cero horas. Además, podemos mejorar de manera significativa el porcentaje de tiempo con valor añadido en este proceso de producción, es decir que si tomamos las mismas medidas que las realizadas en el cursograma analítico del apartado 4.2.2, se reduce el tiempo sin valor añadido en un 40%.

Como vimos en apartados anteriores, la herramienta informática ha previsto un ratio obrero/máquina de 0.77 es lo que la dirección de la línea de producción quiere.

Además, como vimos en el apartado 4.3, queríamos una diferencia como máximo del 21% entre el tiempo de apertura y el tiempo de funcionamiento de NH. Es decir queremos un ratio entre el tiempo de funcionamiento y el tiempo de apertura del  $1 - 0.21 = 79\%$ . Este ratio representa el producto entre la disponibilidad operacional DO y el ratio de carga Tc. Es decir que  $DO * Tc = 0.79$  como mínimo para satisfacer la carga prevista. Este islote extendido puede alcanzar una disponibilidad operacional DO del 100% (no habrá paradas de máquinas). Si tomamos el margen previsto para el absentismo (4% según lo indicado en el capítulo 4), tenemos un ratio de carga posible del 96% (incluso vamos a considerar tener un nivel menor ya que el ajustador puede realizar

tareas del obrero del NH-SH si éste se ausenta).  $96\%$  (ratio de carga \* DO)  $>79\%$ , podríamos producir la carga prevista.

Realizamos el mismo cálculo para SH pero con una diferencia máxima del  $16\%$  entre el tiempo de apertura y el tiempo de funcionamiento. El ratio tiempo de funcionamiento / tiempo de apertura es ahora de  $0.84$ . Debemos tener  $DO * TC = 0.84$  como mínimo para satisfacer la carga prevista. De manera similar que antes, esperamos un ratio de carga del  $96\%$  y una disponibilidad operacional de  $100\%$ . Lo que nos da un producto del  $96\%$  que es superior a los  $84\%$  requeridos.

### 5.2.1.3 PLANIFICACION DE LOS RECURSOS

En este subapartado vamos a planificar los recursos necesarios para implementar la nueva distribución en planta. En primer lugar, vamos a estimar la inversión necesaria para la nueva disposición y en segundo lugar, veremos un programa donde se indica el tiempo posible de la implementación.

Los centros NH y SH no se mueven, sólo se mueve un puesto de ajuste del islote de ajuste hasta el islote NH-SH, lo que cuesta  $200$  euros según datos del departamento de manutención. Una empresa exterior se ocupa del establecimiento de las redes eléctricas, de información y de la aspiración para este puesto por  $1550$  euros. Lo que suma un total de  $1750$  euros

Todos los muebles y bancos están disponibles en la empresa, sólo hace falta cambiar su disposición. Lo que tomaría un día entero (según el departamento de medios industriales). Es decir que se debería parar la producción durante dos turnos, lo que representa  $16$  horas de trabajo.

Aplicando un cálculo similar al que se usó en el apartado 5.1, estimaremos el coste de parada de producción sobre el islote.

Según el controlador de gestión de la línea de producción, en el islote NH-SH, una máquina produce  $140$  euros / hora.

Sabemos que en el islote NH-SH, se debe trabajar con  $0.77$  obrero / máquina.

Hay un obrero por turno de trabajo, es decir que un obrero hace funcionar  $1/0.77 = 1.30$  máquina a la hora.

Es decir que el islote NH-SH produce  $1.30 * 140 = 182$  euros / hora.

Parar el islote durante  $16$  horas, cuesta  $182 * 16 = 2912$  euros.

Según el controlador de gestión de la línea de producción, un puesto de ajuste produce  $80$  euros a la hora.

Sabemos que en el islote de ajuste, se debe trabajar con  $1$  obrero por puesto.

Parar el puesto durante  $16$  horas, cuesta  $80 * 16 = 1280$  euros.

Lo que suma un total de  $1280 + 2912 = 4192$  euros.

La disposición del nuevo islote cuesta  $4192 + 1750 = 5942$  euros.

A continuación, vamos a mostrar un cronograma con las acciones que llevan a la implementación de esa solución.

Empecé esta fase de mejora el 14 abril y 4 semanas después, presenté la propuesta con la planificación a mi jefe (que dio el visto bueno para presentarla a la dirección, que, a su vez, es la encargada de aceptar el lanzamiento de las operaciones). La propuesta de planificación aparece recogida en el siguiente diagrama de Gantt. La denominación de las tareas numeradas de 1 a 6 se ven en detalle sobre la tabla siguiente.

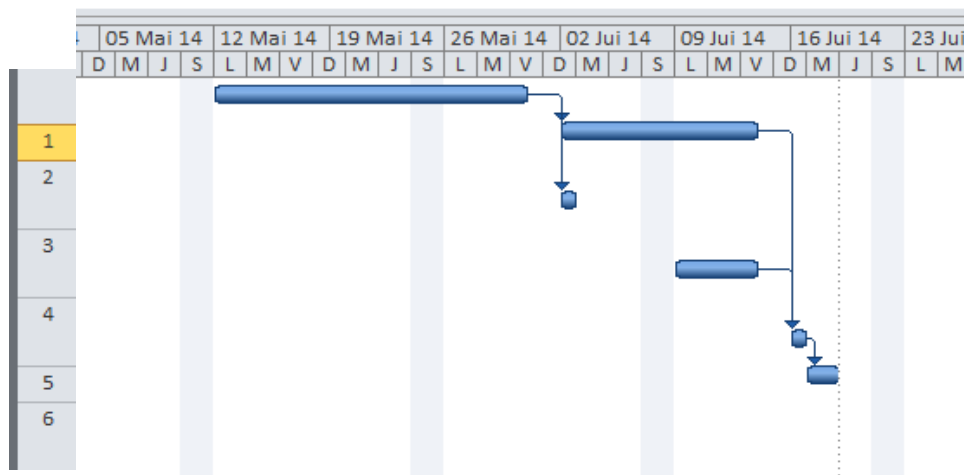


Figura 79 : diagrama de Gantt – planificación implementación del islote extendido

Fuente : elaboración propia

Nº tarea	Tarea	Durada (Días)	Inicio	Fin
1	Propuesta a la dirección	15	L 12/05/14	V 30/05/14
2	Pedir obras para cambio de layout	10	L 02/06/14	V13/06/14
3	Reunión con obreros para explicar obras	1	L02/06/14	L02/06/14
4	Cambio del plan de producción	5	L09/06/14	V13/06/14
5	Obras nuevo layout	1	L16/06/14	L16/06/14
6	Formación obreros en el nuevo funcionamiento	2	M17/06/14	X18/06/14

Tabla 27 : tareas relativas a la implementación del islote extendido

Fuente : elaboración propia.

Como vemos en la tabla siguiente y en el diagrama de Gantt, he supuesto un periodo de 15 días para que la dirección tome la decisión de aceptar o no la propuesta de solución. Una vez aprobada, podemos solicitar los desplazamientos necesarios con un plazo de 10 días. Además, podríamos hacer una reunión de presentación con los obreros y comentar a hacer la obra ese mismo día. La instalación de los nuevos equipos lleva 2 días (como visto antes) y el cambio de los planes de producción lleva 5 días (esto debería realizarse antes del desplazamiento de los equipamientos). A continuación, formaríamos a los obreros y a los supervisores en el nuevo funcionamiento del islote.



## 5.2.2 ACCIONES 5S

En este apartado, en primer lugar, veremos las diferentes acciones 5S a realizar en el islote NH-SH. A continuación, veremos los resultados que podemos alcanzar con ellas y después veremos los recursos necesarios y también un desarrollo posible de las acciones en el tiempo.

### 5.2.2.1 ACCIONES A REALIZAR

Según el análisis hecho en el apartado 4.3.2, hemos deducido que implementar una filosofía 5S sería una buena solución. Antes de empezar las acciones, vamos a tomar fotos para tener una visión general del islote (véase las figuras siguientes).

En este islote podemos constatar un desorden general. Sobre la figura siguiente, vemos el desorden sobre el mármol de control, sobre el puesto de desbarbado (a la derecha de la figura). Las cajas que están en el suelo (a la izquierda de la figura)...



*Figura 80 : desorden general islote NH-SH  
Fuente : foto propia*



En la foto siguiente, vemos un ejemplo de desorden dentro de un cajón.  
La mayoría de los cajones del islote están en este estado.



*Figura 81 : ejemplo de desorden en un cajón.*

*Fuente : foto propia*

La foto siguiente nos muestra un banco que está inutilizado por el desorden.



*Figura 82 : ejemplo de desorden sobre un banco.*

*Fuente : foto propia*

De acuerdo con el jefe del taller y los supervisores, vamos a proceder de manera similar que en el islote de rectificación. Es decir que:

- Las acciones 5S deben realizarse con los obreros que trabajan sobre las máquinas de este islote. Además, hace falta que los obreros vengan durante un mismo turno para que las acciones se realicen con todas las personas implicadas.

- En una primera fase, vamos a ordenar todo el islote. Es decir, vamos a centrarnos en cada una de las 5 máquinas y vamos a quitar todo lo que no sirve de los cajones de todos los muebles y de las tablas. También vamos a quitar los muebles y las tablas que no sirven. Para quitar las herramientas de control y de fabricación que no sirven, es necesario tener la presencia, además de los obreros, del responsable de métodos del islote.

- En una segunda fase, vamos a clasificar los equipamientos. Es decir vamos a dejar cerca de cada máquina las herramientas relacionadas con esa máquina y no con otra. Si hay muchos muebles con muchas herramientas para una máquina, vamos a clasificar las herramientas en función de la frecuencia de uso. Vamos a poner etiquetas sobre los cajones para identificar fácilmente lo que hay dentro. Además, sería útil tener espuma sintética para clasificar las herramientas. Hace falta también redefinir las zonas de trabajo, de control y de aprovisionamientos con líneas sobre el suelo. Además, voy a encargarme de solicitar a los departamentos implicados las herramientas de fabricación y de control que faltan.

- En la tercera fase, la de la limpieza, se necesita contactar con la empresa que se encarga de la limpieza de la planta para que limpien el entorno de las máquinas y para que limpien también sus muebles, tablas y armarios.

- En la cuarta fase, vamos a fijar estándares. Es decir reglas de trabajo que deberán ser aplicadas por los obreros y controladas por los supervisores. Los supervisores deben ayudar a los obreros a aplicar esas reglas. Las reglas van a estar relacionadas con: la limpieza sistemática del puesto de trabajo, el mantenimiento preventivo (que debería ser registrado cada vez que se haya hecho), la utilización de las instrucciones de trabajo, quitar los documentos relativos a órdenes de fabricación que quedan en el puesto, decir cuándo falta un documento y prevenir a los supervisores cuándo una herramienta o un medio de control está defectuoso o falta. Además, vamos a implementar un nuevo tablón en el islote. En efecto, como sabemos, el centro NH tiene dos tablas de mecanizado y el SH tres tablas de mecanizado. Se permite que haya piezas diferentes sobre cada tabla. Actualmente, los documentos relacionados con esas piezas ( es decir las órdenes de fabricación, las instrucciones de control,...) estaban en otro lugar del islote. En estos documentos, esta documentación relativa a las herramientas y a sus características de utilización (condiciones de mecanizado) para cada pieza. Por eso, deberíamos implementar un tablón para cada máquina con una parte para cada tabla de mecanizado donde se pudiera fichar la documentación relativa a las diferentes piezas que están sobre las mesas de mecanizado. Es decir que sobre la parte "tabla nº3" del tablón del SH, estaría la documentación de la pieza que está siendo montada sobre la tabla 3 de la máquina. Debajo de este tablón, podríamos tener una mesa con compartimientos que corresponden a las partes del tablón. Por ejemplo debajo de la parte "tabla 2" del NH, tendríamos los elementos o herramientas necesarias para la fabricación o el desmontaje de la pieza de la tabla 2. El centro NH tiene un tablón

inútil y una tabla que está abajo. Para el SH, vamos a tomar el banco inútil de la figura 82 que vamos a reacondicionar con compartimientos y un tablón.

- Para la “S” de la disciplina, vamos a implementar un tablón que los obreros y supervisores rellenarán con las acciones a llevar a cabo para los problemas encontrados durante la semana. Cada semana, haremos una pequeña reunión de 10-20 minutos para ver si todo se está respetado y si hay problemas. Así los obreros se sentirán más implicados en el proyecto. Vamos también a implementar un nuevo tablón con los indicadores del islote.

#### 5.2.2.2 BENEFICIO ESPERADO DE LAS ACCIONES

En este apartado, vamos a ver lo que podemos esperar de las 5S.

Como, vimos en el apartado 4.2.2, la fase de medida nos mostró un ratio de satisfacción del 63% en la auditoría relativa a las 5 “M”. La fase de análisis nos ha conducido a las 5S para resolver los problemas encontrados en la fase de medida y para alcanzar los objetivos definidos en la misma auditoría. Según el jefe del taller, nuestro objetivo es el mismo que con las acciones 5S del islote de rectificación, es decir alcanzar un ratio de satisfacción del 100% y mantenerlo gracias a las acciones 5S descritas en el subapartado precedente (5.2.2.1).

#### 5.2.2.3 PLANIFICACION DE LOS RECURSOS

En primer lugar, vamos a planificar el presupuesto requerido para realizar las acciones 5S en el islote NH-SH. De manera similar que con el islote de rectificación, se necesita prescindir de ciertas “horas” de trabajo de los operarios para dedicarlas a las actividades de las 5S.

La cuantificación del número de horas necesarias se hace en función del número de máquinas que integran el islote y de la carga de producción a la que están sometidos los puestos de trabajo. En el islote NH-SH, la carga de trabajo es más importante que en el islote de rectificación, por tanto se podrían hacer actividades con los operarios durante sólo 3 horas al día.

Vemos en la tabla siguiente el detalle de las etapas que componen el proyecto 5S y de las horas que corresponden a cada etapa.

Se necesita 36 horas para realizar las acciones de orden y limpieza, 27 horas para la clasificación y el acondicionamiento de los puestos y 3 horas para reunirse para fijar y controlar la aplicación de las reglas. Obtenemos un total de 66 horas.

Perímetro del proyecto		Islote NH-SH 2 máquinas, 1 operario al turno, 3 turnos al día
Nº etapa	tarea	Nº horas necesarias
1	Lanzamiento de las acciones de orden y de limpieza 3 operarios, 3 horas / día, 4 días	36h
2	Tareas 5S, clasificación y acondicionamiento : 3 operarios, 3h/día, 3 días	27h
3	1 reunión por semana de 15 minutos durante las 4 primeras semanas después del lanzamiento de las acciones. 3 operarios, 1 supervisor	3h

*Tabla 28: horas necesarias para actividades 5S en el islote NH-SH*

*Fuente: elaboración propia*

Aplicando el mismo cálculo que en los otros apartados, calculamos los costes por parada de producción a causa de las actividades 5S:

Según el controlador de gestión de la línea de producción, una máquina produce 140 euros /hora.

Sabemos que en el islote de NH-SH, se trabaja con 0.77 obrero / máquina .

Hay un obrero por turno de trabajo, es decir que un obrero hace funcionar  $1/0.77 = 1.30$  máquinas a la hora.

Es decir que el islote produce  $1.30 * 140 = 182$  euros / hora.

Parar el islote durante 66 horas, cuesta  $182 * 66 = 12012$  euros.

El presupuesto para las espumas sintéticas representa 1700 euros para este islote.

La transformación del banco (ya existente), según departamento de las reparaciones (encargado de rehabilitarlo), necesita un presupuesto de 680 euros.

Es decir que las actividades 5S representan un coste de **13692 euros**.

A continuación, vamos a mostrar un cronograma con las actividades 5S. Empecé esa fase de mejora el 14 abril y presenté la propuesta 1 semana después con la planificación a mi jefe que dio su visto bueno para someterla a la aprobación de la dirección. La planificación de estas acciones 5S se muestra en el siguiente diagrama de Gantt. La denominación de las tareas numeradas de 1 a 15 se ve en detalle en la tabla siguiente.

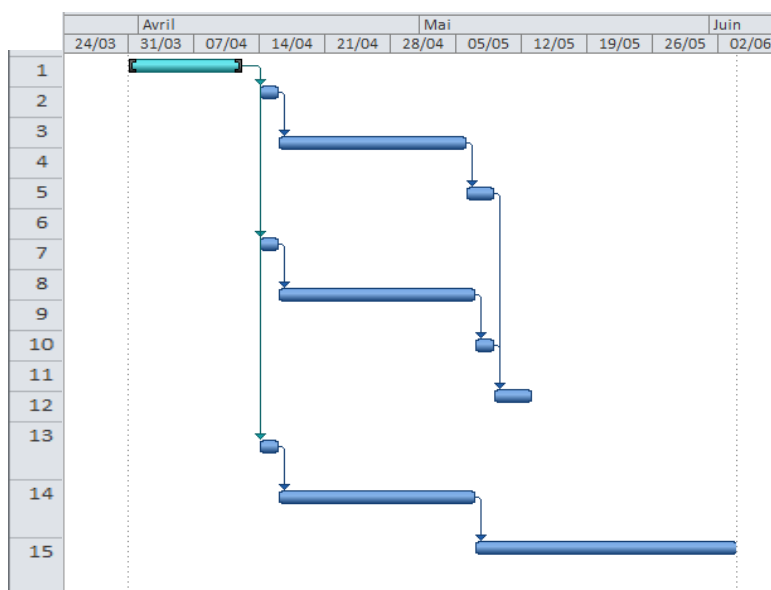


Figura 83 : diagrama de Gantt de las actividades 5S del islote NH-SH

Fuente : elaboración propia

Nº tarea	Tarea	Durada (Días)	Inicio	Fin
1	Propuesta a la dirección	15	L21/04/14	V09/05/14
2	1 S : ordenar	4	L12/05/14	J 15/05/14
3	2 S : clasificar	4	V16/05/14	M 21/05/14
4	3 S : limpiar	3	J 22/05/14	L 26/05/14
5	4 S : estandarizar	1	M 27/05/14	M 27/05/14
6	5S reunión nº1	15 min	V30/05/14	V 30/05/14
7	5S reunión nº2	15 min	V06/06/14	V 06/06/14
8	5S reunión nº3	15 min	V 13/06/14	V13/06/14
9	5S reunión nº4	15 min	V 20/06/14	V 20/06/14
10	Solicitud de las espumas	1	L12/05/14	L12/05/14
11	Plazo de recepción	15	M 13/05/14	L02/06/14
12	Instalación de las espumas	2	M 03/06/14	X 04/06/14
13	Solicitud del banco con el tablón	1	L 12/05/14	L 12/05/14
14	Plazo de entrega del banco	10	M13/05/14	L26/05/14
15	Instalación del banco y formación de los obreros	1	M 27/05/14	M27/05/14

Tabla 29 : tareas de las acciones 5S en el islote NH-SH

Fuente : elaboración propia

Las tareas 1 hasta 12 son similares a las indicadas para el islote rectificación. Sin embargo, tenemos además la realización y la instalación del banco con el tablón (Tareas 13 hasta 15).

### 5.2.3 SOLUCION PARA TENER INFORMACION SOBRE EL FUNCIONAMIENTO REAL DE LAS MAQUINAS.

En este apartado, vamos a ver una solución pensada con el jefe del taller. Se trata de una solución para tener información sobre el funcionamiento real de las máquinas. En el apartado del análisis, supusimos como solución la creación de una herramienta informática que recogiera automáticamente los tiempos de producción en las máquinas. Sin embargo, aunque ésta sería la mejor solución, el jefe del taller prefiere una solución más rápida de implementar y sin coste de implementación. Por tanto, vamos a explicar esa solución en este apartado.

En primer lugar, vamos a recordar el problema.

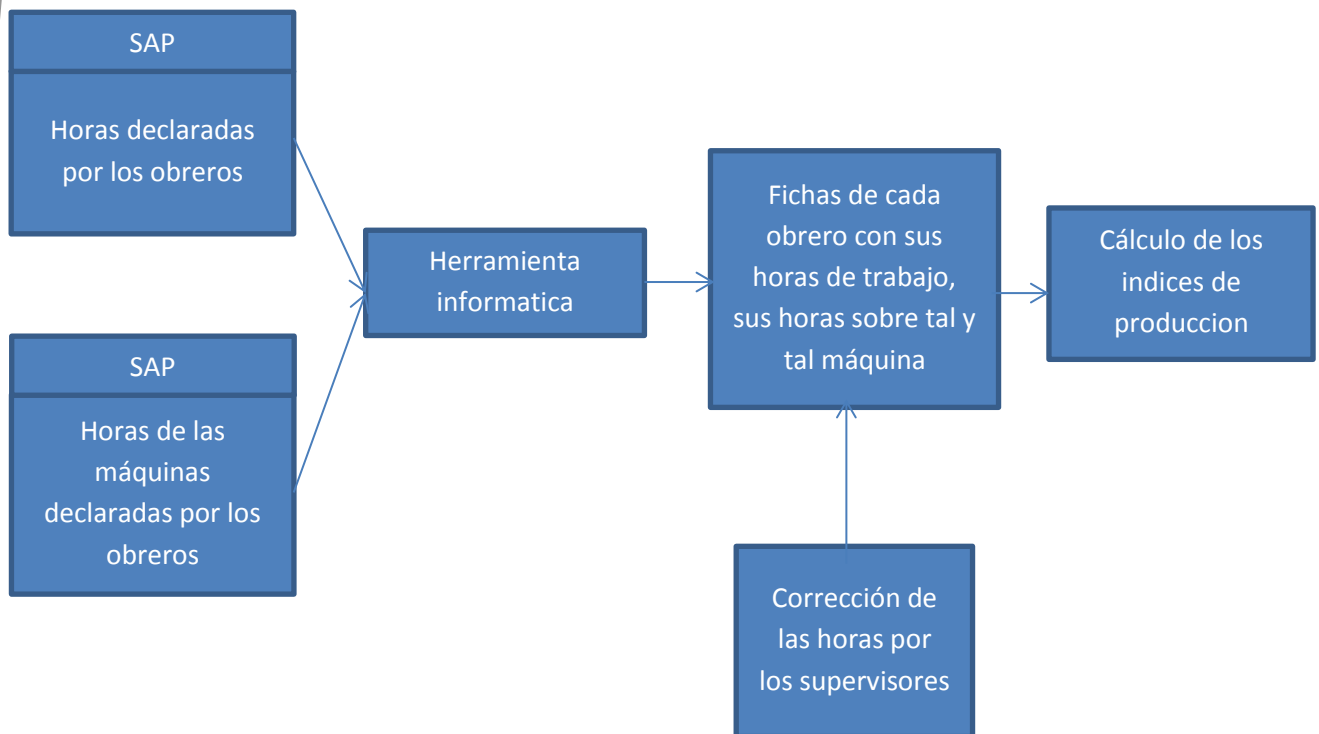
Según hemos visto en el apartado 4.3.2., aunque no podamos cuantificar parte de las paradas de las máquinas, podemos saber que existen defectos a partir de los obreros que fichan las horas que han trabajado en la máquina.

En efecto, el obrero tiene que fichar manualmente diferentes cosas: sus horas de presencia, las horas trabajadas con una máquina y el tiempo total de realización de una orden de fabricación. Con eso, podemos deducir los índices que estudiamos en este proyecto.

El problema es que el obrero cree que está siendo controlado por su índice de eficiencia (ratio entre el tiempo neto que corresponde al tiempo teórico de realización de la orden y el tiempo que el obrero ha trabajado con la máquina). Así, el operario prefiere fichar menos horas trabajadas sobre la máquina para tener un mejor índice de eficiencia y esto nos lleva a tener menos de horas de funcionamiento de la máquina.

Para evitar este desajuste, vamos a implementar una nueva técnica de control en este taller. Ahora, los indicadores salen todos los meses. Un primer cambio, será que los datos salgan de SAP todas las semanas. Como vemos sobre la figura siguiente, el objetivo es que los supervisores del taller extraigan, gracias a una herramienta informática, los tiempos de funcionamiento todas las semanas para ver cómo fueron fichadas las horas de trabajo sobre las máquinas y los tiempos de trabajo de cada obrero. Así, de semana en semana, el supervisor puede decir (de memoria) si las horas de la semana pasada fueron fichadas bien por cada obrero. Si no es el caso, el supervisor puede cambiar las hojas de cada máquina con sus recuerdos sobre las horas realmente hechas y así obtener una mejor estimación de los rendimientos y de los índices de producción. La figura siguiente ilustra este razonamiento.





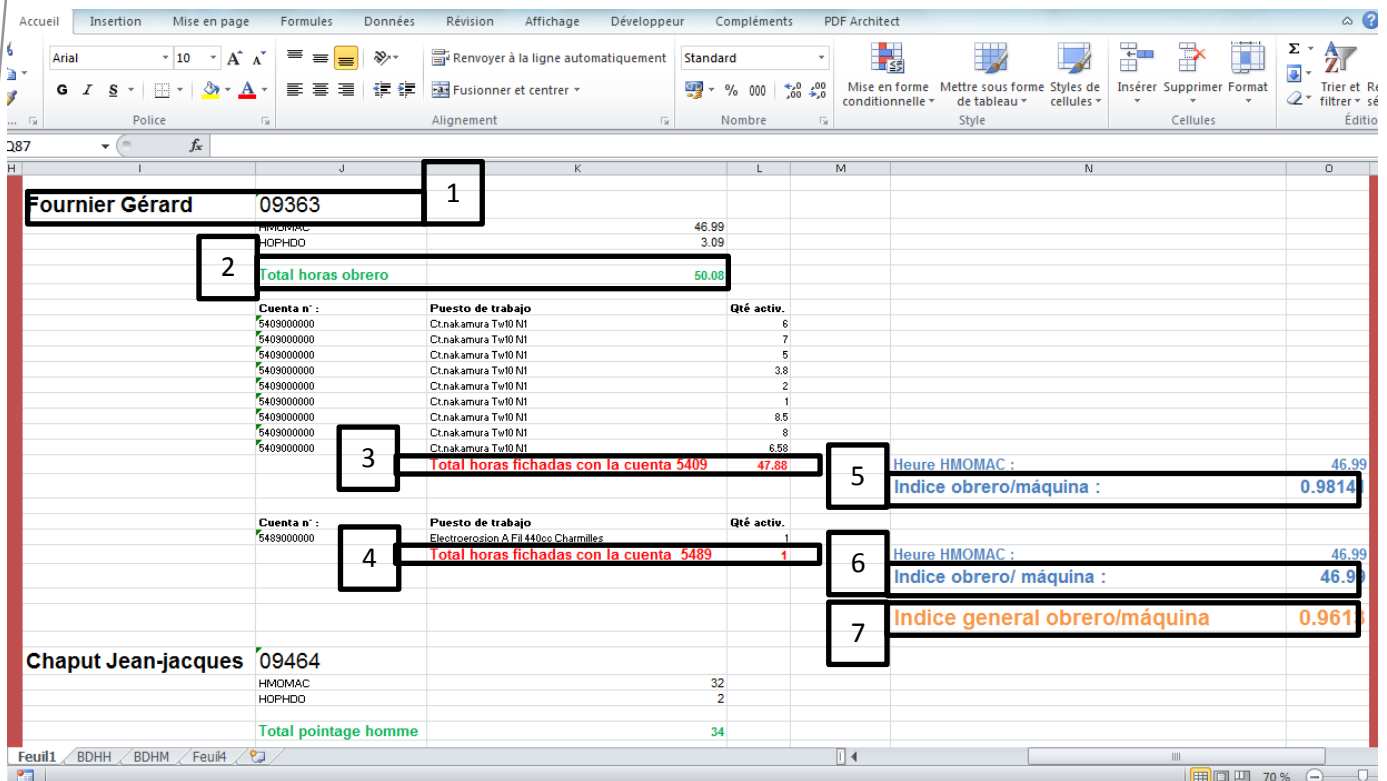
*Figura 84 : ilustración nueva técnica de supervisión.*

*Fuente : elaboración propia*

Esta técnica será posible sólo si se hace todas las semanas. En efecto, se necesita que el periodo de revisión sea corto para que los supervisores se acuerdan de lo que pasó la semana pasada sobre cada máquina.

He creado una herramienta Excel con Macros para clasificar y cruzar las tablas extraídas de SAP. Esta herramienta da una ficha para cada obrero y da su “eficiencia” con las horas que ha trabajado y el tiempo de funcionamiento de las máquinas con las cuales ha trabajado. El supervisor mete las tablas extraídas de SAP con las horas-hombre y las horas-máquinas dentro un fichero y la herramienta informática saca directamente los resultados de cada operario. Así, obtenemos resultados con la forma que podemos ver en la figura siguiente.





Nombre y apellido del operario	ID	Cuenta n°	Puesto de trabajo	Qté activ.	Heure HMOMAC	Indice obrero/máquina
Fournier Gérard	09363	5409000000	Ct.nakamura Tvr10 N1	6	46.99	
		5409000000	Ct.nakamura Tvr10 N1	7	3.09	
		5409000000	Ct.nakamura Tvr10 N1	5		
		5409000000	Ct.nakamura Tvr10 N1	3.8		
		5409000000	Ct.nakamura Tvr10 N1	2		
		5409000000	Ct.nakamura Tvr10 N1	1		
		5409000000	Ct.nakamura Tvr10 N1	8.5		
		5409000000	Ct.nakamura Tvr10 N1	8		
		5409000000	Ct.nakamura Tvr10 N1	6.58		
			<b>Total horas fichadas con la cuenta 5409</b>	<b>47.88</b>		
						<b>0.9814</b>
		5489000000	Electroerosion A Fil 440cc Charmilles	1		
			<b>Total horas fichadas con la cuenta 5489</b>	<b>1</b>		
						<b>46.99</b>
						<b>46.99</b>
						<b>0.961</b>
Chaput Jean-jacques	09464					
				32		
				2		
			<b>Total pointage homme</b>	<b>34</b>		

Figura 85: ejemplo fichas horas obreros

Fuente : elaboración propia

Legenda :

- 1 - Nombre y apellido del operario
- 2 – suma de sus horas de presencia en el taller
- 3- suma de las horas de funcionamiento sobre la máquina 1
- 4- suma de las horas de funcionamiento sobre la máquina 2
- 5- ratio horas obrero / horas máquina sobre la máquina 1
- 6- ratio horas obrero / horas máquina sobre la máquina 2
- 7 ratio horas obrero / horas máquina total.

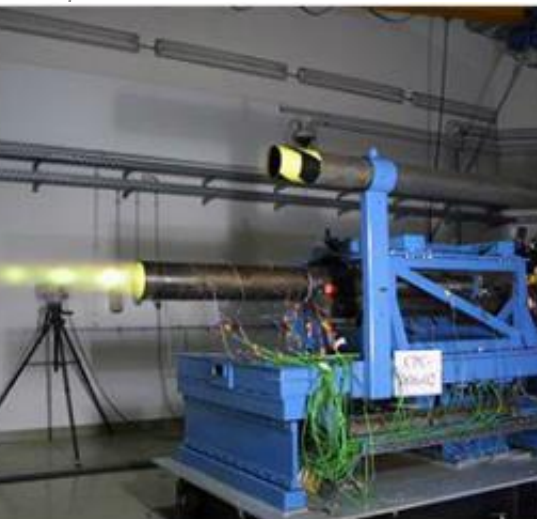
Con este tipo de ficha, el supervisor puede ver directamente si hay un defecto en la manera de fichar las horas realizadas o no y puede corregir los tiempos reales para ver el rendimiento real del medio de producción.

El beneficio de esta solución es indirecto pero permite ver la realidad. El desarrollo de esta herramienta me costó unas 15 horas repartidas en 20 días. De acuerdo con el jefe del taller, no he sometido la herramienta a aprobación por parte de la dirección. Es decir que he construido e implementado la herramienta directamente en el taller.

# **CAPITULO 6 :**

# **RESULTADOS Y ETAPA**

# **DE CONTROL**



## CAPITULO 6 : RESULTADOS Y ETAPA DE CONTROL

En este capítulo vamos a ver los resultados y la última etapa de la metodología DMAIC, la etapa de control. En un primer apartado, veremos el seguimiento de la planificación real las diferentes implementaciones de las soluciones. En segundo lugar, detallaremos las soluciones implementadas finalmente (no todas se implementaron antes de finalizar mi práctica en la empresa por falta de su aprobación por parte de la dirección). En tercer lugar, veremos los beneficios recogidos.

### 6.1 SEGUIMIENTO DE LA PLANIFICACION GENERAL PREVISTA

En este apartado, vamos a ver cómo se ha desarrollado realmente la implementación de las soluciones. Vamos a comparar el desarrollo real con lo que habíamos previsto en las diferentes propuestas de planificación. En los diagramas siguientes, no aparece la solución de la herramienta informática vista en el apartado 5.2.3 ya que, como vimos, no fue sometida a la aprobación por parte de la dirección y fue inmediatamente implementada en este taller, tras el visto bueno del jefe del taller.

En primer lugar, gracias al diagrama de Gantt siguiente, vamos a ver el desarrollo real de la fase de mejora de este proyecto con sus diferentes fases de estudio y de formulación de las diferentes propuestas de soluciones. Veremos también los periodos previstos a la implementación de esas soluciones.

En este diagrama, las barras naranjas representan las fases de estudio y de formulación de propuesta para cada solución vista en el capítulo precedente. Las barras negras indican los subproyectos que representan las implementaciones de las soluciones. Un subproyecto empieza cuando la propuesta ha sido enviada a la dirección, es decir que tiene en cuenta el periodo de aprobación por parte de ella. Las fechas de inicio de los subproyectos son los reales mientras que el fin de cada subproyecto es la estimación que habíamos hecho en el capítulo anterior.

El primer punto azul claro indica el principio de la fase de mejora en el islote de rectificación (el 17 de febrero). La primera barra naranja corresponde al periodo de estudio de la solución de las acciones 5S en el islote de rectificación. El primer punto negro marca el fin de este estudio (el 28/02) e indica también una reunión con el jefe del taller para la aprobación de esta propuesta por su parte. Esa aprobación marca el principio del periodo de estudio del nuevo layout del islote y el principio del subproyecto de la implementación de las acciones 5S en el islote. El periodo de estudio del nuevo layout del islote de rectificación acabó el 28/03 lo que marca el principio del subproyecto correspondiente.

El segundo punto azul claro (el 14/04) marca el principio de la fase de mejora en el islote NH-SH. Es decir del principio de la fase de formulación de la propuesta de las acciones 5S, que acabó el 18/04, y de la fase de formulación de la propuesta del islote extendido, que acabó el 09/05. Al contrario que en el islote de rectificación, hemos empezado los estudios de las dos propuestas en mismo tiempo.

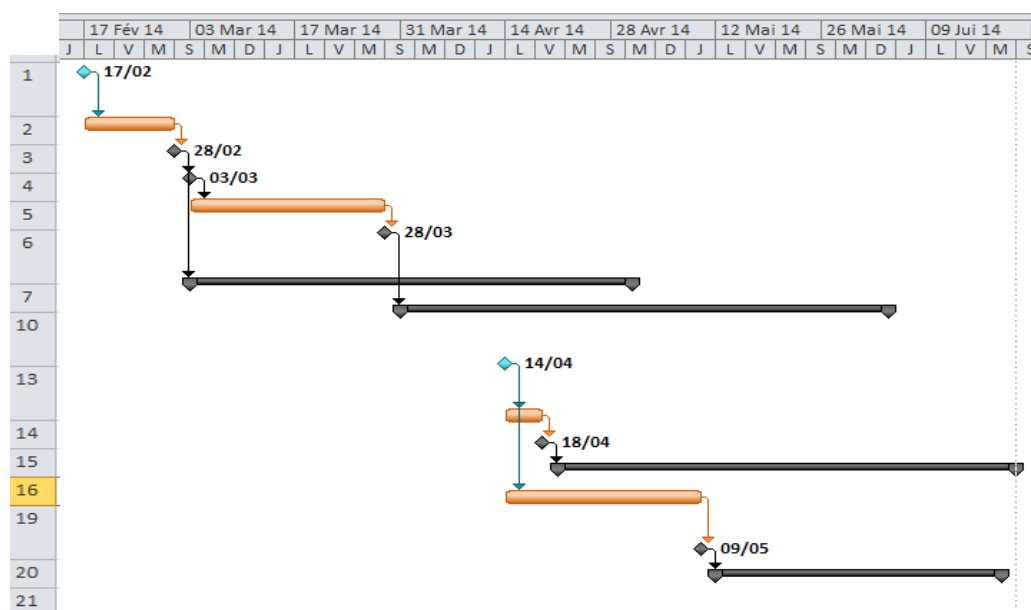


Figura 86: diagrama de Gantt del desarrollo de la fase de mejora

Fuente: elaboración propia.

Nº tarea	Denominación de la tarea	Durada	Principio	Fin
1	Principio de la fase de mejora sobre islote de RECTIFICACION	0	Lun 17/02/14	Lun 17/02/14
2	Estudio de la mejora : acciones 5S – islote de rectificación	10	Lun 17/02/14	Ven 28/02/14
3	Fin del estudio – islote de rectificación	0	Ven 28/02/14	Ven 28/02/14
4	Principio estudio mejora layout – islote de rectificación	0	Lun 03/03/14	Lun 03/03/14
5	Estudio de la mejora : nuevo layout – islote de rectificación	20	Lun 03/03/14	Ven 28/03/14
6	Fin estudio mejora layout – islote de rectificación	0	Ven 28/03/14	Ven 28/03/14
7	<b>Subproyecto 5S RECTIFICACION</b>	<b>43</b>	<b>Lun 03/03/14</b>	<b>X 30/04/14</b>
10	<b>Subproyecto nuevo layout- RECTIFICACION</b>	<b>47</b>	<b>Lun 31/03/14</b>	<b>Mar 03/06/14</b>
13	Principio de la fase de mejora en el islote NH-SH	0	Lun 14/04/14	Lun 14/04/14
14	Estudio de la mejora : acciones 5S - islote NH-SH	5	Lun 14/04/14	Ven 18/04/14
15	Fin estudio mejora 5S - islote NH-SH	0	Ven 18/04/14	Ven 18/04/14
16	<b>Subproyecto 5S - NH-SH</b>	<b>45</b>	<b>Lun 21/04/14</b>	<b>Ven 20/06/14</b>
19	Estudio de la mejora : islote extendido	20	Lun 14/04/14	Ven 09/05/14
20	Fin estudio islote extendido	0	Ven 09/05/14	Ven 09/05/14
21	<b>Subproyecto islote extendido - NH-SH</b>	<b>40</b>	<b>Lun 12/05/14</b>	<b>Ven 04/07/14</b>

Tabla 30 : tareas del diagrama de gantt de la figura 85

Fuente : elaboración propia.

En segundo lugar, vamos a detallar los subproyectos. En el siguiente diagrama de Gantt, vamos a añadir los periodos que se habían previsto para la aprobación por parte de la dirección ( véase las barras en verde en la figura siguiente) y los periodos previstos para la implementación de las soluciones ( véase las barras azules en la figura siguiente).

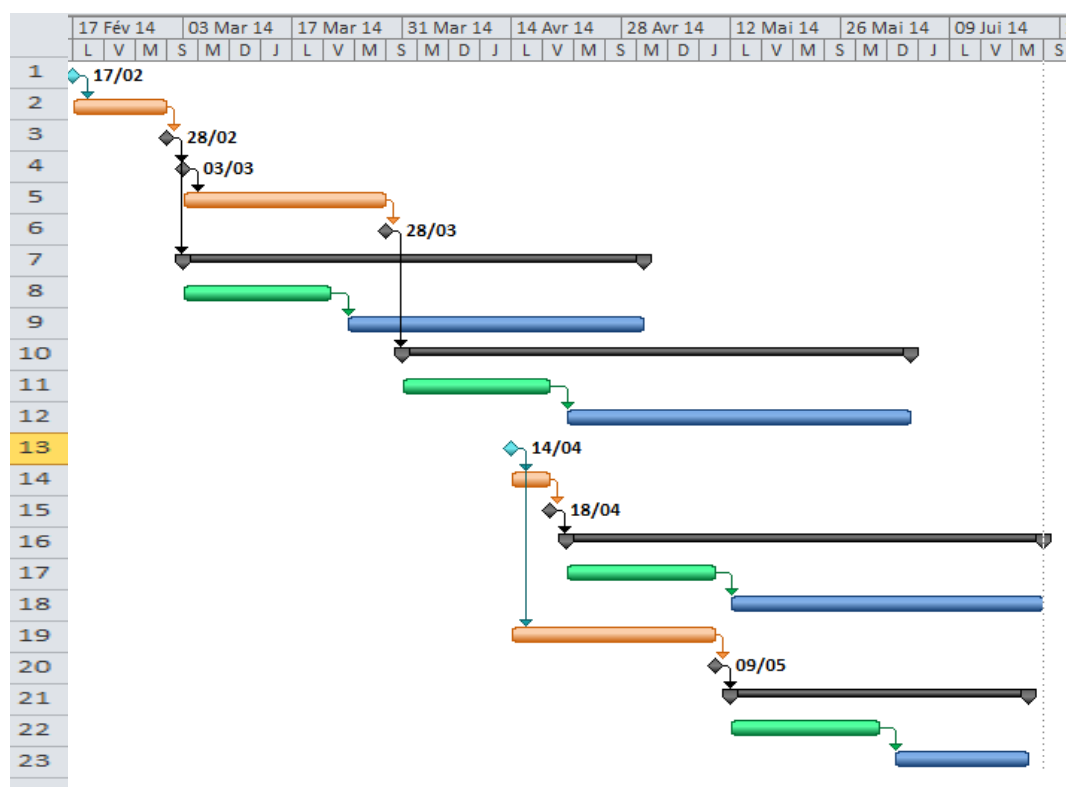


Figura 87 : diagrama de Gantt –fase de mejora - desarrollo previsto

Fuente : elaboración propia

Nº tarea	Denominación de la tarea	Durada	Principio	Fin
1	Principio de la fase de mejora sobre islote de RECTIFICACION	0	Lun 17/02/14	Lun 17/02/14
2	Estudio de la mejora : acciones 5S - islote de RECTIFICACION	10	Lun 17/02/14	Ven 28/02/14
3	Fin del estudio - islote de RECTIFICACION	0	Ven 28/02/14	Ven 28/02/14
4	Principio estudio mejora layout - islote de RECTIFICACION	0	Lun 03/03/14	Lun 03/03/14
5	Estudio de la mejora : nuevo layout - islote de RECTIFICACIÓN	20	Lun 03/03/14	Ven 28/03/14
6	Fin estudio mejora layout - islote de RECTIFICACION	0	Ven 28/03/14	Ven 28/03/14
7	<b>Subproyecto 5S RECTIFICACIÓN - islote de RECTIFICACION</b>	<b>43</b>	<b>Lun 03/03/14</b>	<b>X 30/04/14</b>
8	Solicitud a la dirección - islote de RECTIFICACION	15	Lun 03/03/14	Ven 21/03/14
9	Propuesta de implementación- islote de RECTIFICACION	28	Lun 24/03/14	Mer 30/04/14
10	<b>Subproyecto nuevo layout- RECTIFICACION</b>	<b>47</b>	<b>Lun 31/03/14</b>	<b>Mar 03/06/14</b>
11	Solicitud a la dirección - islote de RECTIFICACION	15	Lun 31/03/14	Ven 18/04/14
12	Propuesta de implementación - islote de RECTIFICACION	32	Lun 21/04/14	Mar 03/06/14
13	Principio de la fase de mejora sobre islote NH-SH	0	Lun 14/04/14	Lun 14/04/14
14	Estudio de la mejora : acciones 5S - islote NH-SH	5	Lun 14/04/14	Ven 18/04/14
15	Fin estudio mejora 5S - islote NH-SH	0	Ven 18/04/14	Ven 18/04/14
16	<b>Subproyecto 5S - NH-SH</b>	<b>45</b>	<b>Lun 21/04/14</b>	<b>Ven 20/06/14</b>
17	Solicitud a la dirección - islote NH-SH	15	Lun 21/04/14	Ven 09/05/14
18	Propuesta implementación- islote NH-SH	30	Lun 12/05/14	Ven 20/06/14
19	estudio de la mejora : islote extendido- islote NH-SH	20	Lun 14/04/14	Ven 09/05/14
20	fin estudio islote extendido - islote NH-SH	0	Ven 09/05/14	Ven 09/05/14
21	<b>subproyecto islote extendido - NH-SH</b>	<b>40</b>	<b>Lun 12/05/14</b>	<b>Ven 04/07/14</b>
22	Solicitud a la dirección - islote NH-SH	15	Lun 12/05/14	Ven 30/05/14
23	Propuesta de implementación - islote NH-SH	13	Lun 02/06/14	X 18/06/14

Tabla 31 : tareas del diagrama de Gantt de la figura 87.

Fuente : elaboración propia

En tercer lugar, vamos a añadir al diagrama precedente los periodos de desarrollo reales para comparar con los que fueron previstos. Las barras en azul claro representan el tiempo real que tardaron las soluciones en ser implementadas una vez aprobadas por parte de la dirección, mientras que las barras rojas muestran los periodos donde se realizaron solicitudes a la dirección sobre las propuestas que no llegaron a ser aprobadas durante el periodo de realización de práctica en la empresa.

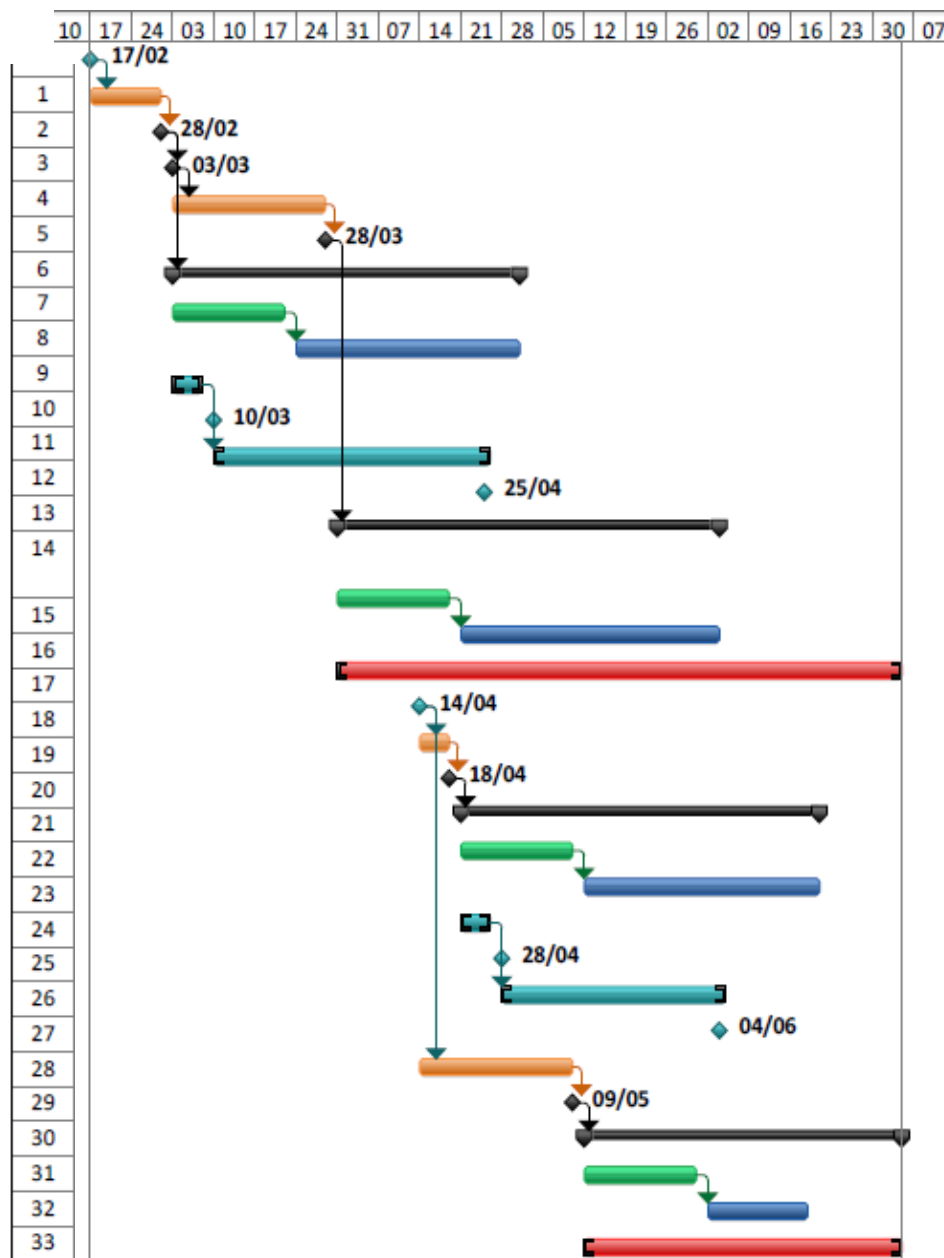


Figura 88 : diagrama de Gantt con el desarrollo real de las implementaciones

Fuente : elaboración propia



N° tarea	Denominación de la tarea	Durada	Principio	Fin
1	Principio de la fase de mejora en el islote de RECTIFICACION	0	Lun 17/02/14	Lun 17/02/14
2	Estudio de la mejora : acciones 5S- islote de RECTIFICACION	10	Lun 17/02/14	Ven 28/02/14
3	Fin del estudio- islote de RECTIFICACION	0	Ven 28/02/14	Ven 28/02/14
4	Principio estudio mejora layout- islote de RECTIFICACION	0	Lun 03/03/14	Lun 03/03/14
5	Estudio de la mejora : nuevo layout- islote de RECTIFICACION	20	Lun 03/03/14	Ven 28/03/14
6	Fin estudio mejora layout- islote de RECTIFICACION	0	Ven 28/03/14	Ven 28/03/14
<b>7</b>	<b>Subproyecto 5S RECTIFICACION</b>	<b>43</b>	<b>Lun 03/03/14</b>	<b>X 30/04/14</b>
8	Solicitud a la dirección- islote de RECTIFICACION	15	Lun 03/03/14	Ven 21/03/14
9	Propuesta de implementación- islote de RECTIFICACION	28	Lun 24/03/14	X 30/04/14
10	Aprobación de la dirección- islote de RECTIFICACION	5	Lun 03/03/14	Ven 07/03/14
11	Principio real implementación- islote de RECTIFICACION	0	Lun 10/03/14	Lun 10/03/14
12	Implementación real- islote de RECTIFICACION	35	Lun 10/03/14	Ven 25/04/14
13	Fin de la implementación- islote de RECTIFICACION	0	Ven 25/04/14	Ven 25/04/14
<b>14</b>	<b>Subproyecto nuevo layout- RECTIFICACION</b>	<b>47</b>	<b>Lun 31/03/14</b>	<b>Mar 03/06/14</b>
15	Solicitud a la dirección- islote de RECTIFICACION	15	Lun 31/03/14	Ven 18/04/14
16	Propuesta de implementación- islote de RECTIFICACION	32	Lun 21/04/14	Mar 03/06/14
17	Aprobación de la dirección- islote de RECTIFICACION	70	Lun 31/03/14	Ven 04/07/14
18	Principio de la fase de mejora sobre islote NH-SH	0	Lun 14/04/14	Lun 14/04/14
19	Estudio de la mejora : acciones 5S- islote NH-SH	5	Lun 14/04/14	Ven 18/04/14
20	Fin estudio mejora 5S- islote NH-SH	0	Ven 18/04/14	Ven 18/04/14
<b>21</b>	<b>Subproyecto 5S - NH-SH</b>	<b>45</b>	<b>Lun 21/04/14</b>	<b>Ven 20/06/14</b>
22	Solicitud a la dirección- islote NH-SH	15	Lun 21/04/14	Ven 09/05/14
23	Propuesta de implementación- islote NH-SH	30	Lun 12/05/14	Ven 20/06/14
24	Aprobación de la dirección- islote NH-SH	5	Lun 21/04/14	Ven 25/04/14
25	Principio real de la implementación- islote NH-SH	0	Lun 28/04/14	Lun 28/04/14
26	Periodo real de la implementación- islote NH-SH	28	Lun 28/04/14	X 04/06/14
27	Fin de la implementación- islote NH-SH	0	X04/06/14	X 04/06/14
28	Estudio de la mejora : islote extendido- islote NH-SH	20	Lun 14/04/14	Ven 09/05/14
29	Fin estudio islote extendido- islote NH-SH	0	Ven 09/05/14	Ven 09/05/14
<b>30</b>	<b>subproyecto islote extendido - NH-SH</b>	<b>40</b>	<b>Lun 12/05/14</b>	<b>Ven 04/07/14</b>
31	Solicitud a la dirección- islote NH-SH	15	Lun 12/05/14	Ven 30/05/14
32	Propuesta de implementación- islote NH-SH	13	Lun 02/06/14	X 18/06/14
33	Aprobación de la dirección- islote NH-SH	40	Lun 12/05/14	Ven 04/07/14

Tabla 32 : tareas del diagrama de Gantt de la figura 88.

Fuente : elaboración propia

Según el diagrama de Gantt que se muestra en la figura 88 y la tabla 25, vemos qué soluciones se han aprobado y cuales no y el desarrollo real de las soluciones aprobadas. En efecto, la propuesta de implementar acciones 5S en el islote de rectificación fue aprobada en una semana en lugar de en las dos semanas previstas. Así que, como muestra la tarea 2, podíamos empezar la fase de implementación real más pronto de lo previsto (es decir el 10/03). Sin embargo, como muestra la fecha de fin de tarea 12, esta fase duró más tiempo que previsto, duró 35 días en lugar de 28 porque un obrero estuvo ausente durante unos días. Además, he tenido que parar la implementación de las

5S sin llegar a implementarlas al completo porque no he obtenido la aprobación de la dirección para las espumas sintéticas (su valor asciende a 3000 euros).

La propuesta del nuevo layout del islote de rectificación no se ha podido implementar. Al fin de la práctica estaba todavía en fase de reflexión por parte de la dirección (véase la tarea 17 en rojo). Esta medida supone parar la producción durante 40 horas y su coste asciende a 72714 euros.

La solución de las 5S en el islote NH-SH fue aceptada por parte de la dirección en 5 días en lugar de los 15 días previstos. Por tanto, al igual que en el islote de rectificación, pudimos empezar la implementación más pronto de lo previsto, empezamos el 28/04 para acabar el 04/06. Al igual que en el islote de rectificación, no he podido implantar las acciones 5S al completo porque no había obtenido la aprobación por parte de la dirección para comprar las espumas sintéticas. La solución del islote extendido no fue aprobada antes del fin de la práctica. Por tanto, no se pudo implementar (véase la tarea 33 en rojo en la figura 68). Esta medida supone parar la producción durante 16 horas y su coste asciende a 5942 euros.

La solución de la herramienta informática que permite obtener el tiempo de funcionamiento real de los medios de producción, fue construida e implementada durante el último mes de la práctica, es decir, a continuación de la implementación de las 5S del islote NH-SH.

## 6.2 MEJORAS IMPLEMENTADAS

En este apartado, vamos a ver en detalle las mejoras realmente implementadas en el islote de rectificación y en el islote NH-SH. En primer lugar, veremos las actividades 5S realizadas en el islote de la rectificación y en segundo lugar, las actividades 5S realizadas en el islote NH-SH.

### 6.2.1 ACCIONES 5S EN EL ISLOTE DE RECTIFICACIÓN

Este subapartado trata la primera solución aprobada por la dirección y que fue comenzada a implementar en el islote. Hemos visto, en apartado precedente (6.1), que el periodo de implementación fue más largo que el previsto. No quiere decir que tomáramos más horas para las actividades 5S sino que escalonamos en más días de los previstos las actividades. Para implementar esta solución, en primer lugar, he pedido a los obreros venir juntos durante una semana. Es decir que el obrero del turno de mañana hacía dos horas más después su turno y el obrero del turno de tarde hacía dos horas más antes su turno. Así, podíamos hacer 4 horas de acciones 5S al día.

En la primera “S”, con la intervención de todos los obreros, hemos eliminado todos los elementos que eran innecesarios en el puesto de trabajo. Había muchos porque se trata de un islote que existe desde hace más de 30 años y ninguna acción de este tipo fue hecha antes. Para tener una idea de lo

realizado en esta etapa, hemos tirado 5 muebles con cajones, 1 escritorio, 1 banco, 3 mesas pequeñas y casi 1 m<sup>3</sup>, es decir, aproximadamente 7500 kg de hierro de herramientas inútiles y no referenciadas. Hemos tirado también y hecho quemar, de acuerdo con diferentes departamentos como el de calidad o de métodos, 6 cajas (de dimensión 70 \* 40 \* 40 cm) con documentos obsoletos (antiguos planes de definición o documentos de control calidad). En este caso, delimité una zona en el islote, donde pusimos todos esos residuos para clasificarlos. Muchas veces, necesitamos la presencia del responsable de métodos en este islote porque los operarios no sabían si algunas herramientas eran útiles o no.

En una segunda "S", con la intervención de todos los operarios, hemos ordenado los puestos de trabajo. En efecto, había herramientas dispersas por todo el islote, así que hemos acercado las herramientas a los puestos de trabajo correspondientes. Y en los puestos de trabajo hemos ordenado las herramientas según la frecuencia de utilización y hemos puesto etiquetas para saber lo que hay dentro de los cajones para que el obrero sepa dónde almacenar rápidamente las herramientas. También, hemos hecho una zona de control calidad dentro del islote, limpia y con todos los medios de control necesarios para este puesto. Sobre el tablón de indicadores, puse una hoja, en la cual los operarios podían indicar con sus observaciones, sus sugerencias y qué faltaba en el islote. Además, puse otra hoja destinada a mostrar el progreso de las acciones previstas y de las acciones sugeridas por los operarios.

Para la tercera "S", he contactado con la empresa de limpieza de la empresa para limpiar los diferentes elementos: las máquinas, los muebles, las zonas... Los obreros participaron también a esa tarea.

Para la cuarta "S" (estandarización), fijamos maneras de trabajar y de mantener los equipamientos en perfecto estado de uso. Por ejemplo: limpiar la máquina y los bancos, ordenar bien las herramientas, no conservar documentos inútiles u obsoletos en el puesto de trabajo, contactar con los supervisores cuando falta un documento o una herramienta, utilizar las zonas de entradas y salidas bien...

Para la Quinta "S" (disciplina), yo había implementado en el tablón de los indicadores una nueva hoja que los obreros y supervisores podían rellenar con las acciones a hacer a abordar sobre los problemas encontrados durante la semana. Según lo definido en el capítulo 5 cada semana hacíamos una pequeña reunión de 10-20 minutos con el supervisor de turno para ver si todo se estaba respetado y si había problemas. Así, los obreros se sentían más implicados en el proyecto. Cerca de esta hoja he puesto los indicadores de eficiencia (métricos) actualizados. Así, durante las reuniones podíamos hablar de las 5S pero también de la eficiencia del puesto y de los problemas técnicos. También había puesto fotos del antes/después de las acciones 5S para mostrar el interés de las actividades a los otros obreros del taller, en definitiva, para motivarlos a solicitar que acciones de este tipo sean también hechas en sus islotes.

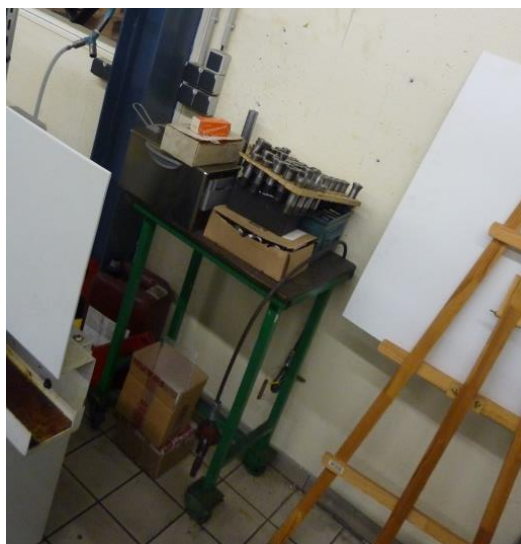
Vamos a ver en las fotos siguientes algunos ejemplos de mejoras hechas gracias a las acciones 5S.  
La figura siguiente nos muestra el antes y el después de una zona del islote (rectificación plana) :



*Figura 89 : fotos rectificación plana antes y después acciones 5S*

*Fuente : elaboración propia*

Podemos ver que hemos tirado dos muebles (el verde y el naranja marcados en la figura 89), la tabla pequeña que vemos en la foto de la derecha cerca del mueble blanco y azul estaba detrás de esa máquina y en el estado que vemos sobre la figura siguiente:



*Figura 90 : foto de una tabla inútil antes las acciones 5S.*

*Fuente : foto propia*



A continuación, vemos en la figura siguiente la máquina de “rodage” y su equipamiento. Podemos ver que hemos ordenados el puesto, tirado un escritorio que está a la derecha de la máquina (lo podemos distinguir sobre la primera foto). Pusimos una cortina negra (véase sobre la segunda foto) para evitar las proyecciones de la máquina de detrás (en verde en la primera foto). El ordenador que vemos está configurado para una medida especial de algunas piezas que pasan por la máquina de “rodage”. He contactado con la empresa que suministra el programa informática de este sistema para actualizarlo porque no se podía medir bien todas estas piezas.



*Figura 91 : fotos antes y después la acciones 5S con la máquina de “rodage”  
Fuente : elaboración propia*

Las dos fotos siguientes nos muestran ejemplos del orden que hemos puesto en los cajones. En este caso, no se han podido comparar con las fotos de antes que corresponden exactamente a estos cajones al no haber tomado estas fotos al inicio del proyecto. Se constata que faltan sólo las espumas sintéticas para cubrir los objetivos marcados en el capítulo 5.

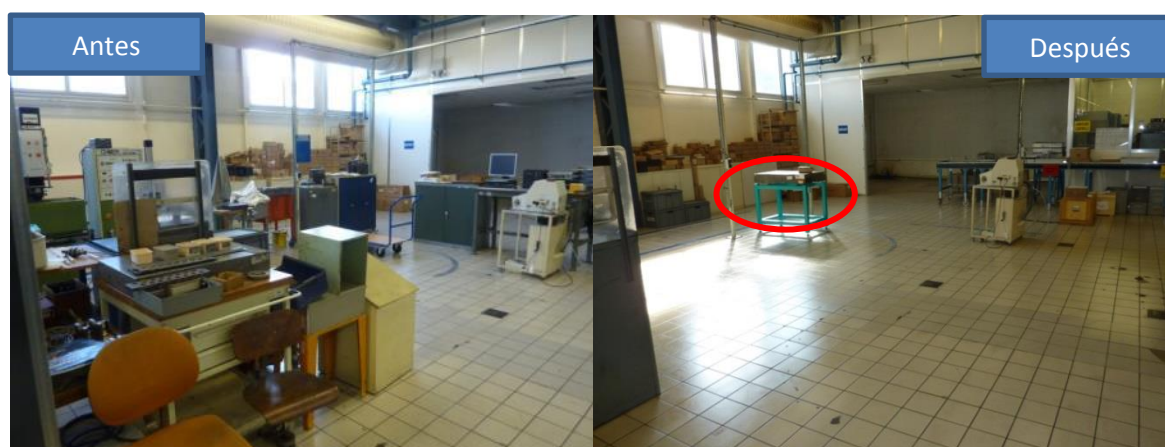


*Figura 92 : ejemplo cajón ordenado 1  
Fuente : foto propia*



*figura 93 : ejemplo cajón ordenado 2  
fuente : foto propia*

A continuación, vamos a ver, en la figura 94, la antigua zona a dismantelar del islote, que ahora está libre y disponible.



*Figura 94: fotos antes y después de la zona a desafectar del islote de rectificación*

*Fuente: elaboración propia*

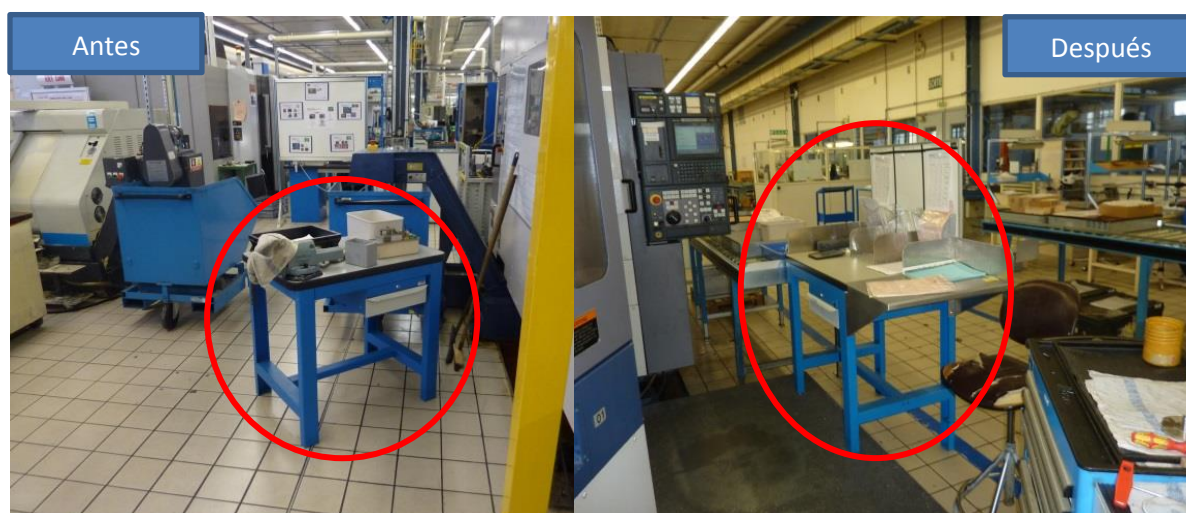
Se constata que queda casi nada en esta zona, excepto el mármol con su nuevo soporte metálico (véase en la foto de derecha) que será destinado al equilibrado de las ruedas.

#### 6.2.2 ACCIONES 5S EN EL ISLOTE NH-SH

Este subapartado trata la segunda solución aprobada por la dirección y que fue realmente implementada en el islote NH-SH. Hemos visto en apartado anterior (6.1) que el periodo de implementación fue menor de lo previsto. Como hemos comentado anteriormente, no quiere decir que tomáramos menos horas para las actividades 5S sino que escalonamos en menos días las actividades.

Al igual que para las acciones del islote de rectificación, he pedido a los obreros venir juntos durante una semana. Es decir que el obrero del turno de mañana hacía una o dos horas más después de su turno y el obrero del turno de tarde hacía dos o una hora de más antes de su turno. Así, podíamos hacer 3 horas de acciones 5S al día.

En la primera “S”, hemos retirado todo lo que era inútil en el islote. En este islote había herramientas de mantenimiento o de control calidad rotas o gastadas. Había también herramientas de mantenimiento que eran inútiles (eran herramientas para la producción de productos antiguos). Estas herramientas se podían clasificar a su vez en dos tipos: los que estaban referenciadas y las sin referenciar. Así, todas las referenciadas fueron mandadas al departamento de las herramientas y las otras fueron tiradas y mandadas al chatarrero. Las herramientas de control calidad inútiles fueron mandadas al departamento de la metrología. A diferencia de lo realizado en las acciones del islote de rectificación, puse desde esta primera S, la hoja de seguimiento del progreso y la hoja para las observaciones, sugerencias y pedidos por parte de los trabajadores ya que comprobé a partir del trabajo realizado en el islote anterior que mejora la motivación de los empleados. Además, como hemos vistos en el capítulo dedicado a las mejoras, había un banco de trabajo inútil y decidí junto a los operarios transferir éste a otra zona del islote. Pedí al departamento de reparaciones que transformara este banco y que le añadiera un tablón como se comentó en las soluciones. Vemos en la figura siguiente la transformación del banco:



*Figura 95 : comparación entre el antiguo y el nuevo banco  
Fuente: elaboración propia*

En la foto de la derecha, se observa el banco en una posición más estratégica para el islote. Es decir en la zona de cambio de piezas y de elementos de herramientas. Podemos ver los compartimientos y el tablón con sus tres partes para cada tabla de mecanizado de la máquina.

En la segunda “S”, hemos localizado las herramientas de control cerca de la mesa de control y hemos acercado las herramientas de mantenimiento a cada máquina junto a los tornillos (véase las figuras siguientes).



Las figuras siguientes representan dos ejemplos de cajones ordenados. Además, puse etiquetas sobre los cajones para designar lo que hay dentro.



*Figura 96 : tornillos ordenados*  
*Fuente : foto propia*



*figura 97 : herramientas ordenadas*  
*fuelle : foto propia*

Para comparar, podemos ver un ejemplo, en la foto siguiente, del estado de un cajón antes de las acciones 5S, se ve un fuerte desorden.



*Figura 88 : ejemplo de cajón con desorden en el islote NH-SH*  
*Fuente : foto propia*

A continuación, en la tercera "S", he pedido a la empresa de limpieza que limpie las máquinas, el suelo y las mesas de trabajo para tener un puesto más limpio y agradable para trabajar.

También he actualizado las métricas del islote (la carga de trabajo que va a recibir, las hojas para completar las causas de las paradas de las máquinas vistas en el apartado 4.3.2, la geometría de las máquinas, el progreso de las acciones 5S, el estado del mantenimiento preventivo, los rendimientos...). Además, he actualizado las fichas de seguridad de las máquinas y controlado las fichas de mantenimiento diario.

Para la cuarta “S”, estandarización, procedimos de la misma manera que en el otro islote para fijar las reglas de trabajo y de mantenimiento de los equipamientos en perfecto estado de uso. Por ejemplo: limpiar la máquina, los bancos, ordenar las herramientas en los cajones correctos, no conservar documentos inútiles u obsoletos en el puesto de trabajo, contactar con los supervisores cuando falta un documento o una herramienta...

Para la quinta “S” (disciplina), coloqué, en el tablón de los indicadores, una nueva hoja que los obreros y supervisores podían rellenar con las relativas a los problemas encontrados durante la semana. Según lo establecido en el capítulo 5 e implantado con anterioridad en el islote de rectificación, cada viernes de las cuatro semanas siguientes, hacíamos una pequeña reunión, de 10-20 minutos con el supervisor y los obreros del turno para ver si todo se estaba respetado y si había algún problema. Cerca de la hoja mencionada anteriormente, he puesto las métricas actualizadas. Así, durante las reuniones podíamos hablar de las 5S y también de la eficiencia del puesto y de los problemas técnicos. Como en el islote de rectificación, puse fotos del antes y después de las actividades para mostrar el interés de las actividades al resto de obreros del taller.

### 6.2.3 HERRAMIENTA INFORMÁTICA PARA CONTROL DE FUNCIONAMIENTO

Como he comentado en apartados precedentes, he construido y he implementado la herramienta informática, que presenté en el capítulo 5, durante el último mes de la práctica. Es decir, que probamos esa herramienta con los supervisores y el jefe sólo durante la última semana de la práctica. Según el jefe, el objetivo de la herramienta parecía alcanzado. En efecto, en esa única semana de pruebas, los supervisores podían hacer cambios en las horas de funcionamiento. Sin embargo, no tuve tiempo para comparar los rendimientos obtenidos con ese método y los obtenidos con el método inicial.

## 6.3 BENEFICIOS Y GASTOS OBTENIDOS

En este apartado, vamos a ver los beneficios y los gastos obtenidos al fin de la práctica en la empresa. En un primer subapartado, veremos los gastos reales para las acciones 5S del islote de rectificación y los beneficios de esa solución. En el segundo subapartado, haremos el mismo estudio para el islote NH-SH.

### 6.3.1 GASTOS Y BENEFICIOS EN EL ISLOTE DE RECTIFICACIÓN

Para la realización de las acciones 5S, hemos utilizado todas las horas previstas y pedidas a la dirección y no hemos recibido las espumas sintéticas.

Por eso el coste total de las acciones 5S es de 10485 euros (según los gastos indicados en el estudio y la planificación de la mejora recogida en el apartado 5.2). Para obtener el beneficio proporcionado por esta solución, he hecho de nuevo una auditoria de las 5M con los operarios y los supervisores, al igual que se hizo al principio del estudio. Es decir que se evaluarán los temas relativos a mano de obra, métodos, máquinas, medio ambiente y materiales. Gracias a las acciones 5S realizadas, hemos conseguido alcanzar los objetivos siguientes:

- 100% de las herramientas de fabricación están adaptadas y en buenas condiciones.
- 100% de los medios de control están adaptados y en buenas condiciones.
- Los equipamientos de seguridad están disponibles y en buenas condiciones.
- La ergonomía del islote es mejor que antes y las flujos están mejor identificados, aunque nos queda por obtener un puesto perfectamente optimizado y eso sólo es posible con un nuevo layout.
- Las fichas de seguridad están disponibles en todos los puestos de trabajo.
- Los puestos de trabajo están limpios.
- Los indicadores son pertinentes y están actualizados.
- Los medios de almacenamiento están disponibles y son utilizados.

La auditoría nos muestra una mejora con los criterios siguientes aunque el objetivo final (nota de 5), no se ha alcanzado:

- Flujos documentados e identificados (nueva nota de 3 en lugar de 1)
- Buena gestión de la documentación (nueva nota de 3 en lugar de 1)
- Instrucciones seguidas todo el tiempo (nueva nota de 3 en lugar de 1)
- Guía de instrucción que se pueda consultar (nueva nota de 3 en lugar de 1)
- Planes de las piezas disponibles y actualizados (nueva nota de 3 en lugar de 1)
- Documentar procedimientos (nueva nota de 3 en lugar de 1)

La mayoría de esos criterios deberían mejorarse de forma progresiva gracias a las reglas de trabajo establecidas durante la fase de disciplina de las acciones 5S. La solución de implementar una guía de instrucción en el islote es imprescindible. Ya que, aunque ésta existe y se puede consultar en el despacho del jefe, nadie lo hace.

La mejora de indicadores se ve en la tabla siguiente. La primera columna hace referencia a la “m” a analizar, la siguiente al criterio analizado para esa “m”, la siguiente a la nota inicial, la siguiente a la nota tras la mejora y la última al nuevo objetivo de mejora.

M	Criterios	Nota inicial	Nota final	Nuevo objetivo a alcanzar
Mano de obra	Conocimiento de los clientes internos y de sus necesidades	5	5	
	Cualificaciones necesarias	5	5	
	Competencias de los obreros	5	5	
	Conocimiento de la organización del taller	5	5	
Medios de producción y máquinas	Medios de manutención	5	5	
	Aplicación del programa de mantenimiento	5	5	
	Herramientas de fabricación	1	5	
	Medios de control calidad	1	5	
	Conocimiento de los procedimientos para controlar riesgos	3	3	Documentar procedimientos
Medios de producción y máquinas	Programación numérica de las máquinas	5	5	
	Equipo de seguridad	1	5	
Medio ambiente	Organización del islote	1	3	Tener un puesto con ergonómico y optimizado con flujos identificados
	Seguridad del puesto	1	5	
	Limpieza	3	5	
Métodos	Planificación de las tareas en el puesto de trabajo	5	5	
	Gestión documentaria	1	3	Buena gestión
	Instrucciones de fabricación y de control	1	3	Instrucciones seguidas todo el tiempo
	Guía para la utilización de las herramientas	1	3	Guía en el puesto
	Registro (orden de fabricación y ficha de control calidad)	5	5	
	Planes con la definición de las piezas	1	3	Planes de las piezas disponibles y actualizados
	Indicadores de eficiencia	1	5	
	Conocimiento de la documentación de calidad	5	5	
Materiales	Stock en el puesto de trabajo	1	5	
	Flujos de aprovisionamiento y de salida	1	3	Flujos documentados e identificados
	Preservación calidad	5	5	
	Lubrificante	5	5	
	Trazabilidad	5	5	
	Gestión de los productos no conformes	5	5	
Suma puntuación total		88 (antes de 5S)	126 (después de 5S)	

Tabla 33 : auditoria final de las 5" M" en el islote de rectificación

Fuente : elaboración propia

Con el sistema de calificación de uno a cinco, podemos calcular el ratio de satisfacción del islote. Sumamos todas las puntuaciones recogidas en la columna nota y lo dividimos entre el número total de criterios multiplicado por 5. Lo que no da un ratio de satisfacción de 87%. Antes las acciones el ratio era de 59%. Lo que representa un aumento del 28%. En este punto, sería interesante analizar el ahorro de distancia recorrida por el obrero gracias a las acciones 5S y deducir el nuevo ratio de tiempo sin valor añadido. Sin embargo, no tuve el tiempo de hacerlo durante la práctica.

### 6.3.2 GASTOS Y BENEFICIOS EN EL ISLOTE NH-SH

De la misma manera que en apartado precedente, vamos a analizar los gastos asumidos para la implementación de las soluciones 5S en el islote NH-SH. Como en el islote de rectificación, hemos utilizado todas las horas previstas para las acciones y no podíamos pedir las espumas sintéticas porque la dirección no daba su visto bueno. Además, en este caso, hemos reacondicionado un banco del islote. Por eso los gastos para este islote fueron de 11992 euros. La construcción de la herramienta informática destinada a la obtención del tiempo real de funcionamiento no se ha valorado al no requerir la adquisición de ningún software especial a los que ya tiene la empresa.

Para obtener los beneficios de esta solución, he hecho de nuevo una auditoria de las 5M con los operarios y los supervisores. Gracias a las acciones 5S realizadas, hemos conseguido alcanzar los objetivos siguientes que son similares a los obtenidos en el islote rectificación:

- 100% de los medios de manutención están disponibles y adaptados.
- 100% de los medios de control están adaptados y en buenas condiciones
- Los equipamientos de seguridad están disponibles y en buenas condiciones.
- Tener un puesto ergonómico y optimizado con flujos identificados.
- Tener todas las fichas de seguridad para todos los puestos.
- Tener los puestos limpios.
- Tener indicadores pertinentes y actualizados.

Aunque se constata una mejora entre el escenario inicial y el mejorado con las acciones 5S, los objetivos en los que no alcanzamos un 5 son los siguientes:

- Una buena gestión de la documentación. (nueva nota de 3 en lugar de 1)
- Instrucciones seguidas todo el tiempo (nueva nota de 3 en lugar de 1)
- Tener una guía de instrucción que se pueda consultar (nueva nota de 3 en lugar de 1).
- Tener los planes de las piezas disponibles y actualizadas (nueva nota de 3 en lugar de 1).
- Tener medios de almacenamiento disponibles y utilizados (nueva nota de 3 en lugar de 1).
- Tener flujos documentados e identificados (nueva nota de 3 en lugar de 1).

El resultado de la auditoria es la tabla siguiente, que se lee de la misma manera que la tabla precedente.



M	Criterio	Nota inicial	Nota final	Nuevo objetivo a alcanzar
Mano de obra	Conocimiento de los clientes internos y de sus necesidades	5	5	
	Cualificaciones necesarias	5	5	
	Competencias de los obreros	5	5	
	Conocimiento de la organización del taller	5	5	
Medios de producción y máquinas	Medios de manutención	5	5	
	Aplicación del programa de mantenimiento	5	5	
	Herramientas de fabricación	1	5	
	Medios de control calidad	1	5	
	Conocimiento de los procedimientos para controlar riesgos	3	3	Redactar una documentación
	Programación numérica de las máquinas	5	5	
	Equipamiento de seguridad	1	5	
Medio Ambiente	Organización del islote	1	5	
	Seguridad del puesto	1	5	
	Limpieza	3	5	
métodos	Planificación de las tareas del puesto de trabajo	5	5	
	Gestión documentaria	1	3	Buena gestión
	Instrucciones de fabricación y de control	1	3	Instrucciones seguidas todo el tiempo
	Guía para la utilización de las herramientas	1	3	Guía consultado
	Registro (orden de fabricación y ficha de control calidad)	5	5	
	Planes con definición de las piezas	1	3	Planes de las piezas disponibles y actualizados siempre
	Indicadores de eficiencia	1	5	Indicadores pertinentes y actualizados
	Conocimiento de la documentación de calidad	5	5	
materia	Stock en el puesto de trabajo	1	3	Medios de almacenamiento disponibles y utilizados
	Flujos de aprovisionamiento y de salida	1	3	Flujos documentados e identificados
	Preservación calidad	5	5	
	Lubrificante	5	5	
	Trazabilidad	5	5	
	Gestión de los productos no conformes	5	5	
Suma Puntuación total		93	131	

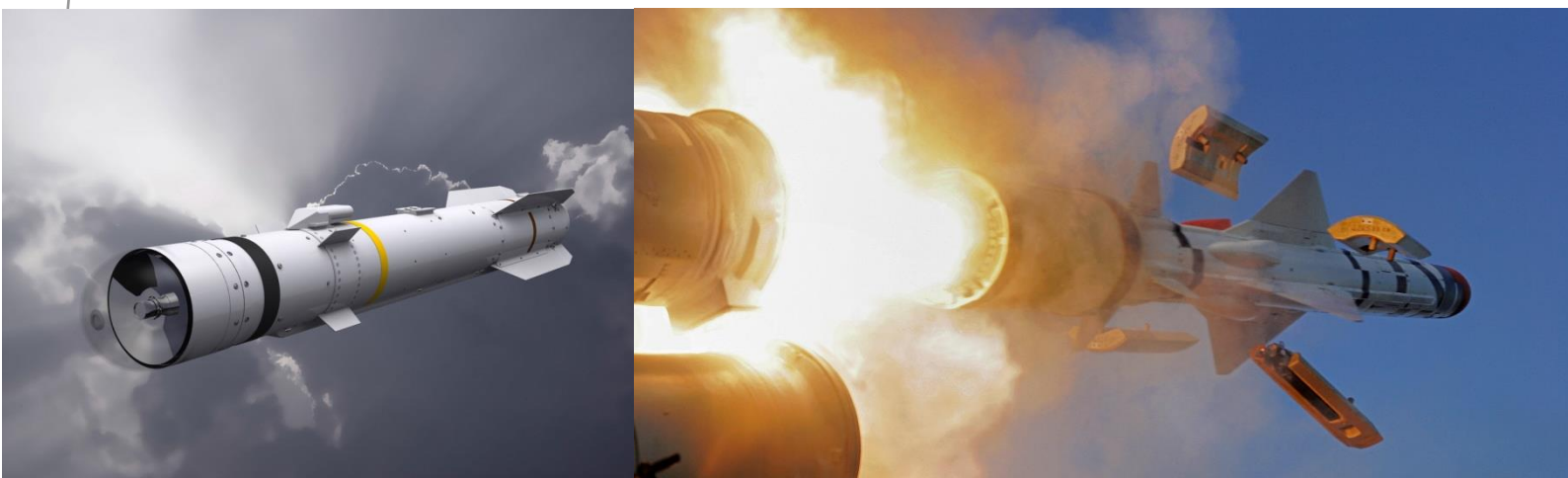
Tabla 34 : auditoria final de las 5 "M" en el islote NH-SH

Fuente : elaboración propia



Al igual que en el caso anterior, con el sistema de calificación de uno a cinco, podemos calcular el ratio de satisfacción del islote. Nos da un ratio de satisfacción de 86%. Antes las acciones 5S el ratio era de 63%. Lo que representa un aumento del 23%. Como hemos visto en el primer apartado de este capítulo, la fase de implementación de las acciones 5S se desarrolló hasta el 4 de junio, es decir, durante el último mes. Por tanto, no he conseguido observar si las acciones realizadas tuvieron una influencia sobre los índices de rendimientos estudiados en este proyecto. El trabajo realizado en los dos islotes es bastante simétrico, así las mejoras de los islotes han ido en la misma línea y por eso se obtienen mejoras similares en los resultados de la auditoria.

# **CAPITULO 7: CONCLUSIONES Y DESARROLLOS FUTUROS**



## CAPITULO 7. CONCLUSIONES Y DESARROLLOS FUTUROS

### 7.1 CONCLUSIONES

#### 7.1.1 CONCLUSIONES DEL PROYECTO

- Conclusión 1: El lean manufacturing era una cosa nueva en este taller. Antes de este proyecto, sólo un islote había sido estudiado usando esta técnica. Así, este proyecto puede considerarse como un avance de la aplicación del lean manufacturing en la empresa, habiendo estudiado dos islotes más.
- Conclusión 2: La metodología DMAIC ha sido de gran utilidad para ordenar las fases de desarrollo del proyecto y para alcanzar los objetivos fijados en el proyecto.
- Conclusión 3: Si bien es verdad que la metodología DMAIC, propone “medir” en su segunda etapa. Me di cuenta de que, en la fase de análisis, era necesario tomar más datos más precisos (es decir, volver a medir), por ejemplo, las paradas de máquinas, con el objetivo de determinar las causas precisas que originaban los problemas identificados.
- Conclusión 4: En el análisis, he podido identificar que los problemas de cada islote no son debidos siempre a problemas de organización, sino a problemas de disciplina por parte de los empleados. Es decir, cuando se crea un islote, se definen, por ejemplo, zonas específicas para las herramientas, pero luego el empleado descuida las normas y así aparecen los problemas.
- Conclusión 5: Cuando planifiqué el proyecto, había un riesgo que tuve suficiente en cuenta y que luego se ha dado. Este riesgo hace referencia a que el circuito de firma pudiera ser largo y complejo. En efecto, sugerí dos soluciones a la dirección que no fueron aprobadas pero tampoco fueron rechazadas, mientras que el jefe del taller, relanzaba con frecuencia las sugerencias para tener una repuesta. Las sugerencias están todavía en curso de decisión, aunque la práctica se ha acabado.
- Conclusión 6: El estudio del islote rectificación y del islote NH-SH no se realizó en paralelo, sino de forma secuencial. De tal forma que la experiencia adquirida a lo largo del estudio del islote rectificación facilitó el estudio del islote NH-SH. En efecto, en el islote rectificación y en el islote NH-SH, se encuentran problemas comunes, sobre todo los identificados en la auditoria 5”M”, que pueden ser mitigados con las mismas acciones correctivas (como las acciones 5S).
- Conclusión 7: Las acciones 5S realizadas fueron un éxito. Esto se ve en el ratio de satisfacción de los islotes y también en los operarios, que quedaron muy satisfechos con el trabajo. El jefe quedó también muy satisfecho de esas acciones puesto que los islotes parecían más adecuados para la producción aeronáutica de alta precisión. Sin embargo, también quedó decepcionado porque las dos soluciones no implementadas no fueron aprobadas antes de que la práctica se acabara.

- Conclusión 8: A pesar de que no hemos podido llevar a cabo todo el proyecto por falta de aprobación de dos soluciones, este estudio nos ha permitido implementar un sistema de estudio de los rendimientos y de los tiempos mediante la norma del TPM. Esto no estaba presente en el taller antes de este proyecto. Este estudio ha sido de utilidad ya que permite elaborar devolver el rendimiento objetivo a alcanzar para producir una carga pedida. Además, este estudio ha sido de utilidad porque ha permitido detectar un problema relativo a los obreros (los obreros fichan manualmente las horas de funcionamiento de las máquinas) y con ello, implementar una herramienta informática para intentar obtener el tiempo de funcionamiento real.
- Conclusión 9: Si hubiéramos podido obtener la evolución de los rendimientos, habría sido muy interesante tener más datos económicos. En efecto, yo sólo he manejado, lo que produce en media cada máquina a la hora en euros. Habría sido interesante tener los costes de producción (fijos y variables) para ver los beneficios monetarios que se tienen con un aumento del cálculo de los rendimientos. Esto daría lugar al primer desarrollo futuro de este proyecto que consistirá en proponer un estudio económico más profundo de las propuestas de solución. Quizás si se hubiera tenido este estudio, esto habría permitido una respuesta positiva y más rápida por parte de la dirección respecto a las acciones de mejora pendientes de aprobar.

#### 7.1.2 CONCLUSIONES PERSONALES

A continuación, se recogen mis conclusiones personales.

- Conclusión 1: Desde un punto de vista técnico, tuve la oportunidad de utilizar diferentes herramientas y métodos del lean manufacturing: TPM, cursogramas analíticos, diagramas de hilos, metodología DMAIC, 5 “S”, 5 “M”,... (aprendidos con más o menos detalle a lo largo de la carrera). Además de utilizarlos, he aprendido a implementarlos.
- Conclusión 2: Desde un punto de vista organizacional, la práctica en empresa me permitió desarrollar de manera estructurada el proyecto en un entorno real. Para su consecución, fue necesario organizarme con una visión diaria, a corto y a medio plazo.
- Conclusión 3: Desde un enfoque humano, que estimo que es muy importante en el campo de la ingeniería de producción, el presente proyecto fue muy formativo. En efecto, me permitió conocer a muchas personas de diferentes departamentos, y de diferentes niveles jerárquicos y aprendí a interactuar con esas diferentes personas. Me permitió desarrollar mi capacidad para hacer comprender el interés de un proyecto, tanto a los operarios como a las personas de las funciones transversales. Me permitió también iniciarme en la gestión y el liderazgo de recursos humanos, en efecto durante las acciones 5S me permitió dirigir a

operarios con diferentes perfiles y caracteres. Había, en particular, un obrero al que fue difícil proponer acciones sobre su puesto de trabajo, pero gracias al uso de comunicación, pude realizar las acciones manteniendo buenas relaciones personales. Además, pude notar el interés de tener una formación generalista en los distintos campos de la ingeniería industrial. En efecto, tener competencias en relación a los procesos de fabricación, a los medios utilizados y a los productos fabricados fue imprescindible para trabajar en el entorno del taller.

## 7.2 DESARROLLOS FUTUROS

- Desarrollo 1: Creo que sería interesante que el análisis de los rendimientos realizado se mantenga, porque da una visión más clara de los tiempos del taller que antes y permite orientar las acciones de mejora continua.
- Desarrollo 2: Creo que sería interesante invertir en un sistema informático para recoger automáticamente los datos de funcionamiento de las máquinas, de tal forma que los operarios no tengan que intervenir en la recogida de datos de producción. Esto proporcionará mayor fiabilidad de los datos recabados.
- Desarrollo 3: Se debería seguir con la disciplina de las 5S para que no se pierdan los logros alcanzados hasta el momento y también extender la filosofía, es decir, implementarla en otros islotes del taller.
- Desarrollo 4: Creo que sería conveniente que se estableciera un presupuesto, por ejemplo, al principio del año, para las actividades de mejora en los talleres. Esto favorecería la generalización de soluciones como las que he presentado.
- Desarrollo 5: Creo que se debería pensar en un nuevo layout del taller al completo. Creo que podría ser interesante cambiar la disposición de todos los restantes islotes ya que tienen, al igual que en los islotes estudiados, un layout antiguo, no diseñado a medida para las máquinas y los flujos de producción actuales.
- Desarrollo 6: Sería interesante analizar el ahorro de distancia recorrida por el obrero gracias a las acciones 5S y deducir el nuevo ratio de tiempo sin valor añadido.
- Desarrollo 7: Se podría observar si las acciones realizadas tuvieron una influencia sobre los índices de rendimientos estudiados en este proyecto

# ANEXO



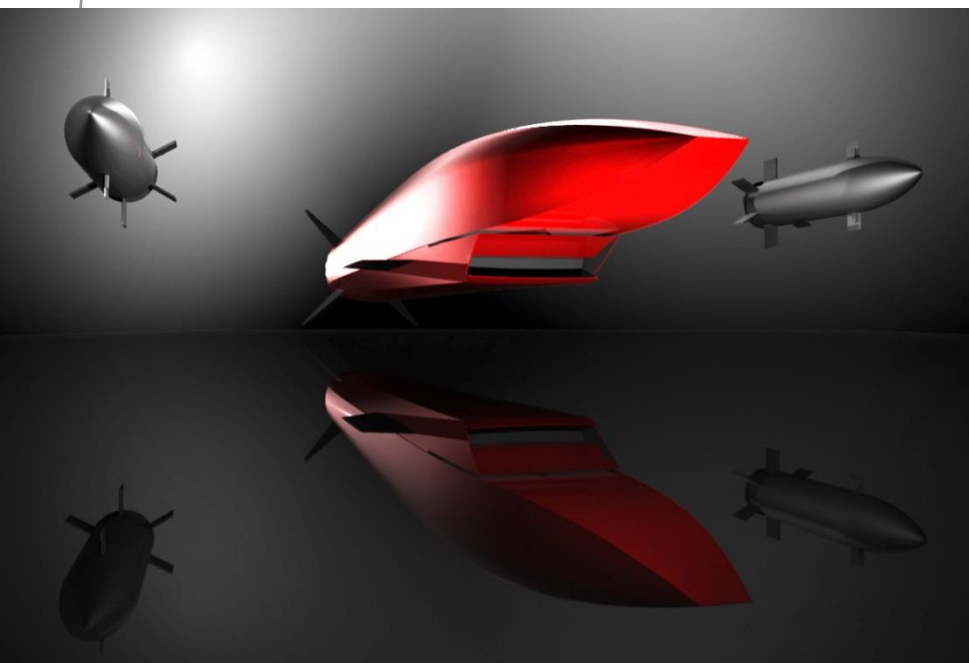


**ANEXO: FORMULAS EMPLEMENTADAS EN LA HERRAMIENTA EXCEL DEL CALCULO DE LOS RECURSOS HUMANOS NECESARIOS EN EL ISLOTE EXTENDIDO**

denominación	Designación	calculo
Carga NH mes n	$C_{NH}(n)$	Dato de entrada
Carga SH mes n	$C_{SH}(n)$	Dato de entrada
Ratio de respeto al tiempo previsto de secuencia de fabricación sobre una maquina i	$(TP/TA)_i$	Dato de entrada
Ratio de conformidad ( calidad) sobre un puesto de trabajo i	$T_{Qi}$	Dato de entrada
Disponibilidad operacional maquina i	$DO_i$	Dato de entrada
Variaciones a causa de la nueva planificación	$V_{NP}(n)$	Dato de entrada
Capacidad ( en horas) de un operador	$C_H(n)$	Dato de entrada
Número de obreros	$T_{facion}$	Dato de entrada
Variación provocada por el TRS ( rendimiento sintético)	$V_{TRS}(n)$	$V_{NP}(n) * (1 + (TRS_{NH} + TRS_{SH})/2)$
Variaciones de la carga de NH	$V_{NH}(n)$	$V_{TRS}/2$
Variaciones de la carga de SH	$V_{SH}(n)$	$V_{TRS}/2$
Rendimiento sintético puesto de trabajo i	$TRS_i$	$(1/(TP/TA)_i) * DO_i * T_{Qi}$
Capacidad operador total sobre islote	$C_{Hi}(n)$	$C_H(n) \times T_{facion}$
Carga NH con inclusión del TRS	$C_{NH\ TRS}(n)$	$(C_{NH}(n)/TRS_{NH}) + V_{NH}(n) + S_{NH}(n-1)$
Carga SH con inclusión del TRS	$C_{SH\ TRS}(n)$	$(C_{SH}(n)/TRS_{SH}) + V_{SH}(n) + S_{SH}(n-1)$
Total NH-SH	$C_{NH-SH}(n)$	$C_{NH\ TRS}(n) + C_{SH\ TRS}(n)$
Sobrecarga NH	$S_{NH}(n)$	$ Si\ C_{NH\ TRS}(n) < C_{Hi}(n),\ C_{NH\ TRS}(n) - C_{Hi}(n)$ $ Si\ C_{NH\ TRS}(n) > C_{Hi}(n),\ 0$
Sobrecarga SH	$S_{SH}(n)$	$ Si\ C_{SH\ TRS}(n) < C_{Hi}(n),\ C_{SH\ TRS}(n) - C_{Hi}(n)$ $ Si\ C_{SH\ TRS}(n) > C_{Hi}(n),\ 0$
Tiempo con el cual NH y SH deben funcionar juntas.	$T_{M\ Mini}(n)$	$ Si\ C_{NH-SH}(n) < C_{Hi}(n),\ C_{NH-SH}(n) - C_{Hi}(n) - S_{NH}(n) - S_{SH}(n)$ $ Si\ C_{NH-SH}(n) > C_{Hi}(n),\ 0$
Tiempo “libre” de los obreros	$T_{libre}$	$ Si\ C_{NH-SH}(n) < C_{Hi}(n),\ C_{Hi}(n) - C_{NH-SH}(n)$ $ Si\ C_{NH-SH}(n) > C_{Hi}(n),\ 0$
Tiempo que NH puede mecanizar solo ( sin hacer tiempo enmascarado con el SH)	$NH_{seul}$	$ Si\ S_{SH}(n) > 0,\ 0$ $ Si\ S_{SH}(n) < 0,\  Si\ C_{NH-SH}(n) > C_{Hi}(n),\ C_{Hi}(n) - C_{SH\ TRS}(n)$ $ Si\ C_{NH-SH}(n) > C_{Hi}(n),\ C_{NH\ TRS}(n)$
Tiempo que SH puede mecanizar solo	$SH_{seul}$	$ Si\ S_{NH}(n) > 0,\ 0$ $ Si\ S_{NH}(n) < 0,\  Si\ C_{NH-SH}(n) > C_{Hi}(n),\ C_{Hi}(n) - C_{NH\ TRS}(n)$ $ Si\ C_{NH-SH}(n) > C_{Hi}(n),\ C_{SH\ TRS}(n)$
Ratio obrero / maquina máxima	$R_{H/M}(n)$	$C_{Hi}(n) / C_{NH-SH}(n)$

Carga puesto de ajuste del islote extendido	$C_{Aju}(n)$	Dato de entrada
Total de sobrecarga con SH y NH	$Tot_{Surcharge}(n)$	$S_{NH}(n) + S_{SH}(n)$
% de artículos que no están aprovisionados en ajuste (a causa del retraso de NH-SH)	$R_{Non Appro}(n)$	$Tot_{Surcharge}(n) / C_{NH-SH}(n)$
Carga ajuste afinada	$C_{Aju aff}(n)$	$C_{Aju}(n)(1 - R_{Non Appro}(n)) + C_{Aju}(n-1) * R_{Non Appro}(n-1)$
Carga ajuste final	$C_{Aju finale}(n)$	$C_{Aju aff}(n) * (1 / TRS_{aju})$
Capacidad de un obrero de ajuste	$C_{Ha}$	Dato de entrada
Numero obrero puesto de ajuste islote extendido	$T_{faction aju}$	Dato de entrada
Capacidad obrero ajuste en un mes	$C_{H aju}(n)$	$C_{Ha} * T_{faction aju}$
Sobrecarga ajuste en el mes n	$S_{Aju}(n)$	Si $C_{Aju finale}(n) > C_{H aju}(n)$ , $C_{Aju finale}(n) - C_{H aju}(n)$ Si $C_{Aju finale}(n) < C_{H aju}(n)$ , 0
Tiempo libre obrero de ajuste	$T_{Libre aju}(n)$	Si $S_{Aju}(n) > 0$ , 0 Si $S_{Aju}(n) < 0$ , $C_{H aju}(n) - C_{Aju finale}(n)$
% tiempo libre	% temps libre(n)	$T_{Libre aju}(n) * 100 / C_{H aju}(n)$
Tiempo pasada al ajuste	$T_{ajustage}(n)$	Si $S_{Aju}(n) > 0$ , $C_{H aju}(n)$ Si $S_{Aju}(n) < 0$ , $C_{Aju finale}(n)$
Media del tiempo con el cual NH y SH deben funcionar juntas	$T_{moy masqué à réaliser}$	sea m el número de mes del plazo a analizar $(\sum_m (T_{M Mini}(n))) / m$
Media ratio obrero/ maquina máximo sobre NH y SH	$R_{Moy H/M}$	sea m el número de mes del plazo a analizar $(\sum_m (R_{H/M}(n))) / m$
Media sobrecarga mensual sobre NH y SH	$S_{moy NH-SH}$	sea m el número de mes del plazo a analizar $(\sum_m (Tot_{Surcharge}(n))) / m$
Media mensual tiempo libre al puesto de ajuste	$T_{Moy Libre aju}$	sea m el número de mes del plazo a analizar $(\sum_m (T_{Libre aju}(n))) / m$
Media mensual sobre carga ajuste	$S_{Moy Aju}$	sea m el número de mes del plazo a analizar $(\sum_m (S_{Aju}(n))) / m$

# BIBLIOGRAFIA



- Roy Billam y François V. Pathy, 2002, Amélioration continue dans l'entreprise (Mejora continua en la empresa), *Techniques de l'ingénieur*. "Techniques de l'ingénieur" (técnicas del ingeniero) es un editor especializado en información para profesionales técnicos y científicos.
- José Grambdi, 2012, Lean Management et excellence industrielle (lean management y excelencia industrial), *Techniques de l'ingénieur*.
- Marc Pathy, 2003, Amélioration continue dans l'entreprise – étude de cas : 5S et management visuel . (Mejora continua en la empresa – caso : 5S y manejo visual), *Techniques de l'ingénieur*.
- Daniel Lecoeuvre, 2005, Réingénierie global des processus – outils graphique d'analyse (reingeniería de los procesos – herramientas graficas de análisis), *Techniques de l'ingénieur*.
- Aldéric Petitqueux, 2006, Implémentation lean : application industrielle (Implementación lean : aplicación industrial), *Techniques de l'ingénieur*.
- Tito Gatti, 2003, Total productive management, *Techniques de l'ingénieur*.
- AFNOR (asociación francesa de normalización), 2002, Norma: NF E60-182, Norma dedicada a la medida de los indicadores de productividad.
- Área de organización, Universidad Carlos III, 2013, asignatura de "organización del trabajo": 5º curso de ingeniera industrial.
- Sitio internet de la empresa MBDA : [www.mbda.com](http://www.mbda.com) (01/08/2014)
- Documentación interna, manuales y otros documentos aportados por la empresa MBDA.